



Tesis Doctoral 2012
Jaime Rodríguez Noriega

Patrones de composición físico-química y de distribución de la fauna estigobia en el sistema hidrológico del Monumento Natural de Ojo Guareña, Burgos, España

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Museo Nacional de Ciencias Naturales
Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva

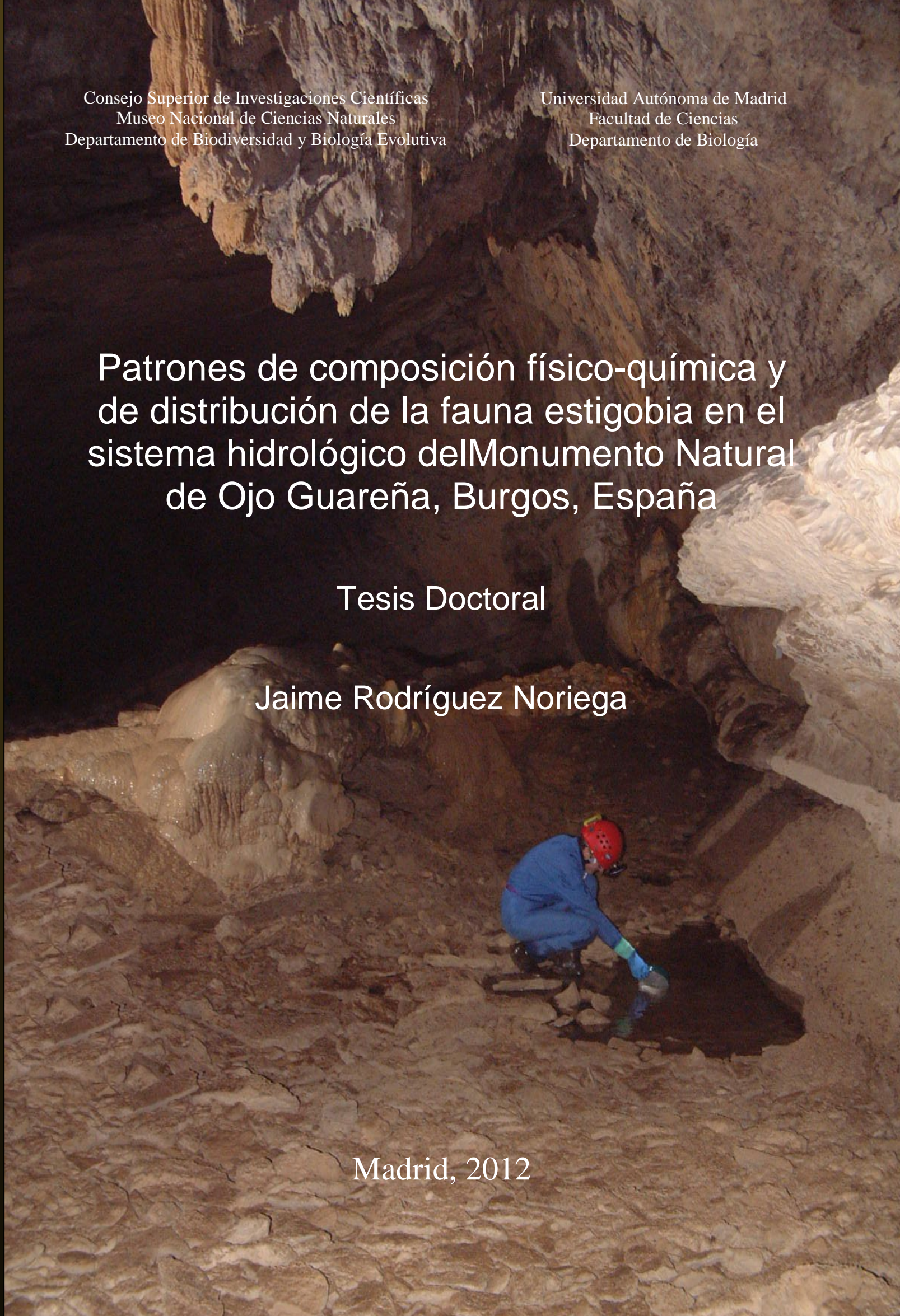
Universidad Autónoma de Madrid
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología

Patrones de composición físico-química y de distribución de la fauna estigobia en el sistema hidrológico del Monumento Natural de Ojo Guareña, Burgos, España

Tesis Doctoral

Jaime Rodríguez Noriega

Madrid, 2012



Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Museo Nacional de Ciencias Naturales
Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva

Universidad Autónoma de Madrid
Facultad de Ciencias
Departamento de Biología



Patrones de composición físico-química y de distribución de la fauna estigobia en el sistema hidrológico del Monumento Natural de Ojo Guareña, Burgos, España.

Memoria presentada para optar al grado de doctor por:

Jaime Rodríguez Noriega

Bajo la dirección de los Doctores:

Ana I. Camacho Pérez
Científico Titular del CSIC
Museo Nacional de Ciencias Naturales

Antonio García-Valdecasas Huelin
Investigador Científico del CSIC
Museo Nacional de Ciencias Naturales

Y tutelada por el Doctor:

José Luis Viejo Montesinos
Catedrático de Zoología
Universidad Autónoma de Madrid

Madrid, 2012

Resumen

El medio acuático subterráneo ha recibido escasa atención por parte de los científicos en todo el mundo, y en la Península Ibérica en particular. En el Monumento Natural de Ojo Guareña, desde el descubrimiento de su gran cueva, Ojo Guareña, en los años 50 del pasado siglo, se han llevado a cabo muestreos puntuales con fines meramente taxonómicos. Así se han descrito algunas especies nuevas para la ciencia de invertebrados, terrestres principalmente y algunas acuáticas. El presente estudio es el primero en integrar estudios faunísticos y ambientales, contemplando diferentes medios acuáticos (cuevas, hiporreos, surgencias y freático) y atendiendo a distintas escalas espaciales y temporales.

Los objetivos principales han sido:

- Caracterización físico-química de las aguas subterráneas del complejo kárstico.
- Inventario de especies y patrones de diversidad acuática subterránea y de endemidad.
- Patrones de distribución faunística espacio-temporal correlacionados con los patrones físico-químicos detectados en los mismos hábitat y en los mismos tiempos.
- Evaluación del estado de conservación de las poblaciones estigobias y de las aguas que las albergan como referencia para su preservación futura en caso de la puesta en valor de este espacio natural.

El trabajo de campo se realizó entre 2002 y 2004, simultaneando el análisis de los resultados, si bien estos se han prolongado tras la fase experimental. Durante los muestreos se ha utilizado la metodología habitual en este tipo de hábitat, aunque se desarrollaron dispositivos *ad hoc*: trampas con cebo, sistemas para la recogida de agua de percolación y del fondo de lagos en cuevas, entre otros.

Para la caracterización físico-química de las aguas se ha combinado un análisis *in situ* (pH, conductividad, concentración de oxígeno disuelto y temperatura del agua y el ambiente) y otro en laboratorio (concentración de diversos aniones y cationes).

Se han realizado 148 análisis físico-químicos del agua de 10 puntos seleccionados del recorrido habitual en la cavidad principal, Palomera, y 66 más en 44 puntos del resto de la cavidad. En conjunto han revelado unas aguas salubres, sin indicios significativos de contaminación, cuya composición está determinada por la naturaleza del agua de precipitación y la meteorización de la roca del karst. Las aguas se agrupan en conjuntos discretos según el tipo de hábitat, es decir, en función de la naturaleza del sustrato del que proceden, más que por la localización geográfica y hemos deducido que esto se debe principalmente a la granulometría, la composición del sedimento y la procedencia del agua. Por otro lado, la semejanza hallada entre puntos del *recorrido ocasional*, distantes entre sí, se puede atribuir a la conectividad hidráulica, a las líneas de flujo subterráneas que recorren la galería principal.

Se han recogido 169 muestras de fauna estigobia, de forma extensiva (54 puntos de muestreo) e intensiva (periódicamente en 10 puntos seleccionados del recorrido principal) empleando diferentes métodos de muestreo, en la cavidad principal ("Palomera"). En el resto del Monumento Natural, el *entorno*, se han muestreado 12 cavidades, 12 surgencias, 2 pozos y el medio hiporréico y freático de 12 puntos asociados a 7 arroyos del sistema. Las muestras, lavadas y procesadas bajo la lupa binocular, han puesto de manifiesto la presencia de 75 taxa en la cavidad principal y hasta 135 en su entorno. Algunos grupos, principalmente crustáceos y oligoquetos, han sido estudiados a nivel genérico o específico por taxónomos experimentados. Así los listados faunísticos han revelado la presencia de 21 especies estigobias en Palomera y 26 especies estigobias en el entorno, 39 en todo el Monumento (24 de ellas endémicas y 15 nuevas para la ciencia). Asimismo, se documenta la existencia de 26 endemismos, del propio complejo kárstico, o de la región que ocupa el Monumento Natural.

Los análisis, tanto de los datos faunísticos, a diferentes escalas, como de los físico-químicos y de ambos conjuntamente, han sido realizados con un software adecuado a la naturaleza de los mismos, el paquete PRIMER (software de estadística no paramétrica) con diferentes módulos de análisis uni- y multivariante.

Se ha detectado una distribución espacial de la fauna en parches y se ha evaluado la composición de las poblaciones en el *recorrido habitual*; gracias a los muestreos periódicos, se ha podido ver cómo tal composición evoluciona a lo largo del ciclo anual. Algunas especies sólo aparecen en un tipo de hábitat mientras que otras están más ampliamente repartidas por todos los medios. Las fluctuaciones en el flujo de agua de percolación y en los niveles del agua que rellena charcos y *gours*, que incluso circula por las galerías en periodos de crecida a lo largo del ciclo anual, es la responsable principal de estas peculiares distribuciones.

El gran número de especies estigobias encontrado hace de Ojo Guareña un "punto caliente" de diversidad subterránea, el primero detectado en España. Esta diversidad lo sitúa entre los 15 lugares del mundo con mayor número de crustáceos estigobios y entre los 10 con mayor cantidad de fauna estigobia.

El análisis conjunto de datos faunísticos y físico-químicos en la cavidad principal revela que la mayor cantidad de fauna estigobia se encuentra en medios con saturación de carbonatos, que contienen agua permanentemente, con fondo mixto y con elevada concentración de materia orgánica. La menor riqueza de especies estigobias se observa en medios temporales, con minelarización escasa, variaciones estacionales marcadas en todos los parámetros medidos y con poco contenido en materia orgánica.

El esfuerzo realizado en este estudio ha permitido generar una valiosa información, pionera y cuya utilidad es indudable, más allá de la gran aportación que supone al conocimiento científico del medio subterráneo, en estudios encaminados a la conservación del medio natural y de su patrimonio biológico.

Así, en caso de que la cavidad sea puesta en valor en el futuro permitiendo visitas reguladas, se contará con unos datos de partida, del estado "0", que permitirán ver cómo evolucionan las poblaciones y evaluar el impacto de la presencia humana en la misma, caso de que tal impacto se produzca.

A Inés, a Nacho

y a toda la familia

No hay algo más blando y dócil que el agua, pero nada puede superarla en el combate contra lo duro y resistente, en esto nada puede sustituirla, Lao-Tse.

Índice

Índice

Prefacio	IX
Agradecimientos	XI
1. Introducción	3
1.1. El medio acuático subterráneo	5
1.1.1. Una breve historia de la bioespeleología.....	12
1.1.2. Características de la fauna subterránea	14
1.2. Zona de estudio: El Monumento Natural de Ojo Guareña	20
1.2.1. Situación geográfica y antecedentes históricos	20
1.2.2. Climatología y Bioclimatología	23
1.2.3. Geología y geomorfología	24
1.2.4. Hidrología e hidrogeología	26
1.2.5. Estudios faunísticos en el Complejo Kárstico	29
2. Objetivos	39
3. Hipótesis	43
4. Material y Métodos	45
4.1. Área de trabajo. Descripción de las estaciones de muestreo	45
4.1.1. Estudios realizados en la cavidad principal	45
4.1.1.1. Descripción de los puntos de muestreo intensivo	45
4.1.1.2. Descripción de los puntos de muestreo extensivo	51
4.1.2. Estudios llevados a cabo en el entorno de Palomera, dentro del Monumento Natural de Ojo Guareña	56
4.1.3. Cartografía y topografía digitales: localización general de todos los puntos de muestreo	69
4.2. Métodos de muestreo	71
4.2.1. Análisis físico-químico del agua muestreada	71
4.2.1.1. Variables medidas en el campo	72

4.2.1.2. Variables medidas en el laboratorio	73
4.2.2. Métodos de muestreo biológico del medio acuático	74
4.2.2.1. Métodos de muestreo en cuevas	75
4.2.2.2. Métodos de muestreo en surgencias	78
4.2.2.3. Métodos de muestreo en el medio intersticial	78
4.2.2.4. Métodos de muestreo en pozos	80
4.3. Resumen de las muestras recogidas en las galerías de Palomera y en el <i>entorno</i>	81
4.4. Conservación de las muestras biológicas, fijación y lavado	83
4.5. Revisión de las muestras biológicas. Separación por grupos faunísticos	84
4.6. Metodología taxonómica	85
4.6.1. Morfología general de Isopoda y Amphipoda	87
4.6.1.1. Isopoda Latreille, 1817	89
4.6.1.2. Amphipoda Latreille, 1816	91
4.6.2. Preparación de los ejemplares de isópodos y anfípodos para su estudio taxonómico	93
4.6.3. Metodología taxonómica en Isopoda	94
4.6.4. Metodología taxonómica en Amphipoda	95
4.6.5. Taxonomía molecular. Metodología	96
4.6.5.1. Conservación y almacenamiento de los individuos para análisis molecular	96
4.6.5.2. Extracción y secuenciación del material genético	97
4.7. Metodología estadística	97
4.7.1. Análisis de los datos físico-químicos	97
4.7.1.1. Análisis de agrupamiento (UPGMA)	98
4.7.1.2. Análisis en componentes principales (PCA)	99
4.7.1.3. Ordenación multidimensional no paramétrica (NMDS)	99
4.7.1.4. Análisis de similitud (ANOSIM)	99
4.7.2. Análisis de los datos faunísticos	100
4.7.2.1. Análisis de diversidad. Curvas de saturación de especies	101
4.7.3. Análisis de conjunto	102
5. Resultados	105
5.1. Resultados de los análisis físico-químicos	105
5.1.1. Balance del muestreo físico-químico	106

5.1.1.1. Descriptiva de los resultados físico-químicos en el <i>recorrido habitual</i> en Palomera	106
5.1.1.2. Descriptiva de los resultados físico-químicos en el recorrido ocasional en Palomera	111
5.1.1.3. Descriptiva de los resultados físico-químicos en el entorno de Palomera	112
5.1.2. Caracterización físico-química	115
5.1.3. Resultados del análisis estadístico multivariante de los datos físico-químicos. Patrones de la composición del agua	122
5.1.3.1. Análisis estadístico de los datos físico-químicos del agua del <i>recorrido habitual</i>	123
5.1.3.1.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	123
5.1.3.1.2. Análisis en componentes principales (PCA)	125
5.1.3.1.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	128
5.1.3.1.4. Análisis de similitud (ANOSIM)	129
5.1.3.2. Análisis estadístico de los datos físico-químicos del agua del <i>recorrido ocasional</i>	131
5.1.3.2.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	132
5.1.3.2.2. Análisis en componentes principales (PCA)	134
5.1.3.2.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	137
5.1.3.2.4. Análisis de similitud (ANOSIM)	137
5.1.3.3. Análisis estadístico de la físico-química del conjunto, recorridos habitual y ocasional de Palomera	139
5.1.3.3.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	139
5.1.3.3.2. Análisis en componentes principales (PCA)	141
5.1.3.3.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	143
5.1.3.3.4. Análisis de similitud (ANOSIM)	144
5.1.3.4. Análisis estadístico de la físico-química del <i>entorno</i>	145
5.1.3.4.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	147
5.1.3.4.2. Análisis en componentes principales (PCA)	148
5.1.3.4.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	151
5.1.3.4.4. Análisis de similitud (ANOSIM)	152
5.2. Resultados taxonómicos propios	153
5.2.1. Especies estudiadas de Isopoda	154
5.2.1.1. Familia Asellidae	154
5.2.1.2. Familia Stenasellidae	156
5.2.2. Especies estudiadas de Amphipoda	157

5.2.3. Resultados de los análisis moleculares	160
5.3. Resultados faunísticos	161
5.3.1. Balance del muestreo faunístico	161
5.3.2. Determinación de las especies. Listados faunísticos. Estatus ecológico y endemicidad de las especies subterráneas	164
5.3.2.1. Listado faunístico de Palomera y endemicidad de las especies subterráneas	164
5.3.2.2. Listado faunístico del <i>entorno</i> y endemicidad de las especies subterráneas	179
5.3.3. Resolución taxonómica y análisis faunístico: niveles de análisis	189
5.3.4. Análisis faunístico: nivel general. Estadística multivariante. Distribución general de las poblaciones	190
5.3.4.1. Análisis estadístico de la distribución faunística en el <i>recorrido habitual</i>	191
5.3.4.1.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	191
5.3.4.1.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	195
5.3.4.1.3. Análisis de similitud (ANOSIM)	197
5.3.4.2. Análisis estadístico de la distribución faunística en el <i>recorrido ocasional</i>	198
5.3.4.2.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	199
5.3.4.2.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	200
5.3.4.2.3. Análisis de similitud (ANOSIM)	201
5.3.4.3. Análisis estadístico de la distribución faunística en el <i>entorno</i>	201
5.3.4.3.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	201
5.3.4.3.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	203
5.3.4.3.3. Análisis de similitud (ANOSIM)	204
5.3.5. Análisis faunístico: nivel específico. Estadística multivariante	204
5.3.5.1. Análisis estadístico de la distribución de las especies en el <i>recorrido habitual</i> ..	205
5.3.5.1.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	205
5.3.5.1.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	210
5.3.5.1.3. Análisis de similitud (ANOSIM)	212
5.3.5.2. Análisis estadístico de la distribución de las especies en el <i>recorrido ocasional</i>	215
5.3.5.2.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	215
5.3.5.2.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	217
5.3.5.2.3. Análisis de similitud (ANOSIM)	219
5.3.5.3. Análisis estadístico de la distribución de las especies en el <i>entorno</i>	219
5.3.5.3.1. Análisis de agrupamiento (<i>Cluster</i> , UPGMA)	220
5.3.5.3.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)	223

5.3.5.3.3. Análisis de similitud (ANOSIM)	225
5.3.6. Descripción de las poblaciones. Abundancia relativa	228
5.3.6.1. Poblaciones del <i>recorrido habitual</i>	228
5.3.6.2. Poblaciones del <i>recorrido ocasional</i>	236
5.3.6.3. Poblaciones del <i>entorno</i>	238
5.3.6.4. Riqueza faunística de las poblaciones recogidas en cueva Palomera	244
5.3.6.5. Riqueza faunística de las poblaciones recogidas en el <i>entorno</i>	246
5.4. Análisis de conjunto / del ecosistema	248
5.4.1. Recorrido habitual de la cavidad principal	249
5.4.2. Recorrido ocasional de la cavidad principal	249
5.4.3. Entorno de la cavidad principal	250
5.5. Contribución a la diversidad de especies de los diferentes hábitat y bloques estudiados. Patrones de distribución de la riqueza de especies y potencial biológico. Grado de conocimiento de las poblaciones reales	251
6. Discusión	255
6.1. Sobre la composición química del agua	255
6.2. Sobre la fauna y su diversidad	259
6.3. La diversidad faunística estigobia de la Península Ibérica en el conjunto de la fauna subterránea en Europa y en el Mundo	264
6.4. Sobre conservación	276
7. Conclusiones	281
8. Bibliografía	287

Apéndices

- Apéndice 1. Resultados de los análisis físico-químicos en la cavidad principal
- Apéndice 2. Resultados de los análisis físico-químicos en el *entorno*
- Apéndice 3. Grupos faunísticos en la cavidad principal
- Apéndice 4. Presencia de especies en la cavidad principal
- Apéndice 5. Grupos faunísticos en el *entorno*
- Apéndice 6. Presencia de especies en el *entorno*
- Apéndice 7. Alzamiento topográfico de las cuevas del *entorno*

Prefacio

En la década de los años 90 se contempla la posibilidad de la apertura de una pequeña parte de la Cueva de Ojo Guareña (Cornejo, Burgos) al público, aproximadamente 3 de los 110 Km de desarrollo, con el fin de ofrecer al medio rural, con una economía deprimida, alternativas de desarrollo sostenible, a la vez que se brinda a la sociedad la oportunidad de conocer tesoros naturales que se encuentran en buen estado de conservación. Dada la creciente concienciación social de la necesidad de preservar el entorno natural y de conservar todos sus valores paisajísticos, biológicos, geológicos, etc., así como la voluntad política de llevar esta necesidad a la práctica, se considera la posibilidad de iniciar estudios biológicos en el presente ecosistema kárstico singular. En este marco nace y se gesta el estudio que a continuación presentaremos.

El complejo de Ojo Guareña fue declarado "Monumento Natural" en 1996, figura de protección que cuenta con una legislación nacional y comunitaria que regula la explotación de los recursos y conservación de sus propiedades físico-químicas y los valores biológicos. La ausencia de estudios medioambientales previos, hace pensar en la necesidad de abordarlos antes de su puesta en valor. Así a finales del año 2001 se firma un Convenio entre la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León y el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, para llevar a cabo estudios biológicos de la fauna acuática del Monumento. La finalidad del mismo era llegar a tener datos previos, acerca de la biodiversidad y el estado de conservación de algunas poblaciones de invertebrados acuáticos cavernícolas, antes de que una eventual apertura al turismo pudiera alterarlas.

Resulta de interés el conocimiento del estado de las aguas, así como la presencia, diversidad y distribución de las poblaciones de invertebrados que habitan en ellas. Dichas poblaciones son a su vez bioindicadores del estado de salud del karst y parte de una cadena alimenticia, consumidora de detritos, la cual ayuda a mantener la salubridad del agua subterránea.

Así, se ha ido trazando un estudio de interés general, científico-cultural y socio-político, bajo un nuevo paradigma en la biología acuática subterránea. Se han utilizado técnicas y materiales de muestreo innovadores, que permiten una colección de la fauna eficaz y poco agresiva. La aproximación se ha hecho en diferentes medios (*gours*, charcos, medio intersticial de ríos epi- e hipogeos) y a diferentes escalas geográficas (3 km de recorrido habitual en la cavidad principal, 7 km en el conjunto de la cavidad principal y considerando todo el Monumento, un área de estudio superior a los 50 Km²) y diferentes escalas temporales (comparación de datos mensual, cuatrimestral, anual y trianual), con el objetivo de obtener una visión dinámica de la evolución de dichas poblaciones de invertebrados acuáticos a lo largo de diferentes periodos de tiempo.

La evidente necesidad de llevar a cabo estudios biológicos previos a la intervención humana del medio, nos ha dado la posibilidad de trabajar en un área que actualmente está en un buen estado de conservación y ha constituido todo un privilegio. Es un estudio pionero en España en este campo, son

muchas las cuevas abiertas al turismo recientemente en nuestro país que no cuentan con estudios faunísticos previos y por supuesto se desconoce el valor biológico de las mismas, evitándose así la necesidad de un seguimiento adecuado de la evolución de las poblaciones animales sometidas a la presión del turismo. En Ojo Guareña, se dispone ya de un conocimiento previo de su biodiversidad acuática y será fácil diseñar los mecanismos adecuados de seguimiento de las poblaciones animales para evitar un posible deterioro de las mismas derivado de las visitas turísticas.

Con el trabajo realizado también se ha puesto de manifiesto la importancia que tiene el estudio de los acuíferos subterráneos y sus hábitat asociados en conjunto, para obtener una visión actual e integradora del "Ecosistema Kárstico" global.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis dos directores de tesis, Ana Isabel Camacho Pérez y Antonio García-Valdecasas, y a Juan M. Pérez-Zaballos, quienes me brindaron la oportunidad de adentrarme en este *oscuro mundo*, el medio subterráneo. A Carlos Puch, por su ayuda en las cuevas, con mapas, topografías, GPS y una parte del documento fotográfico. Todos ellos me han guiado en este caminar, con la compañía y el conocimiento del Grupo Espeleológico Edelweiss, en especial: Ana de Juan, Jesús Robador, Fortunato Lázaro y Fidel Molinero.

A Damiá Jaume, por su ayuda en la parte taxonómica y sus comentarios sobre la tesis y a todos los investigadores que han colaborado en los dos proyectos que han nutrido los listados faunísticos de este trabajo. A mi tutor, José Luis Viejo, por sus enseñanzas y consejos.

También agradezco a mi familia, mi mujer y mi hijo que han sufrido mi ausencia durante unos largos meses y me han dado alegría y ánimo para seguir adelante, a mis padres y hermanas, suegros y cuñados y todo el resto de la familia y a los amigos que me han alentado durante todos estos años e incluso han colaborado en la revisión de alguna parte o la totalidad del trabajo.

No quiero olvidar tampoco a mis compañeros de fatigas del Museo Nacional de Ciencias Naturales, en esas jornadas intensas, entre experimentos, datos, ponencias, cursos, reuniones de departamento, charlas, consejos y ratos de distensión, especialmente: Sara G. de Uzqueta, Marisa Peláez, David Espantaleón, Laura G. Montoto, Marta Martínez, César Joao Benetti, Alberto Jiménez, Iván Acevedo, Pilar Casado, Diego Llusia, Lucía Arregui, Raquel González, M^a José Ruiz, José Benavent, Daniel Aguayo y Noemí Guil, pero también a todos aquellos con quienes el trabajo se ha hecho más ameno.

Al Laboratorio de Geología (geoquímica, M^a Asunción Vallejo y M^a Isabel Ruiz y electroforesis, Roberto García García), Colecciones de Tejidos y ADN por su ayuda y enseñanza en técnicas moleculares (Isabel Rey y Beatriz Álvarez) y todo el resto del personal del Museo que me ha acompañado y hace posible su sostenimiento.

El estudio que comprende el presente documento se ha realizado en el marco de dos proyectos de investigación, gracias a los cuales se han podido sufragar los viajes, el material y una parte del propio estudio. Uno de los proyectos ha sido financiado por la Junta de Castilla y León, por medio de un Convenio de Colaboración entre la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. El otro, ha sido el proyecto europeo PASCALIS (Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life in the Subsurface), con el auspicio de la Comisión Europea.

Introducción

1. Introducción

En la primera mitad del Siglo XX se desarrolló el estudio de los medios subterráneos, centrado en las investigaciones faunísticas en las cuevas de más fácil acceso para los naturalistas (Bellés, 1992). Sin embargo, en las últimas décadas del mismo Siglo se conforman los primeros grupos interdisciplinares, con trabajos que abarcan principalmente: taxonomía morfológica y molecular, hidrología, hidrogeología, geoquímica y estadística. Al integrar estas herramientas variadas y poder analizar el cúmulo de los diferentes datos, se llegó a definir el nuevo concepto del “ecosistema kárstico”, en el que se diferencian dos unidades funcionales fundamentales: el medio físico y el componente biológico (Rouch, 1977; Rouch, 1986). Este nuevo concepto se valida en un sistema kárstico diferente, en el cual se observa que la dinámica de las poblaciones de invertebrados acuáticos subterráneos se ve regulada por el régimen de las aguas (Gibert, 1986).

Estos avances en el estudio del ecosistema acuático se han podido realizar gracias a un cambio de enfoque y a un desarrollo de las metodologías y técnicas aplicadas en los estudios (Danielopol y Griebler, 2008). En las últimas décadas se hace una aproximación a diferentes escalas: el entorno de la cueva, la cuenca de drenaje que recoge el agua de infiltración y la reúne en los cauces de los arroyos y los ríos, los acuíferos colgados, la zona saturada freática, las corrientes de agua subterráneas y las zonas de resurgencia. Con esta nueva concepción y la aplicación de nuevas metodologías limnológicas adaptadas a este medio, como la filtración sistemática de los caudales intermitentes en surgencias (Gibert, 1986) y el método de Karaman-Chappuis (Camacho, 1992) se han obtenido resultados reveladores a cerca de la dinámica y composición de las poblaciones presentes en el karst.

Se han realizado estudios de los acuíferos someros asociados a los cauces de los ríos, dirigiendo la atención en las tres dimensiones espaciales: vertical, a diferentes profundidades, transversal, a diversas distancias del centro del cauce del río y longitudinal, a lo largo del cauce en diferentes estaciones de muestreo (Marmonier *et al.*, 2000), de modo que se combina una doble visión reduccionista y holista.

Se observan poblaciones específicas de los acuíferos profundos que desaparecen con la proximidad al medio epigeo. Existen grupos animales que viven ligados a las zonas no saturadas por el acuífero, la zona de infiltración, donde encontrarán menos competencia por otras especies que requieren saturación de agua. Algunos otros grupos, o especies, son más generalistas y se encuentran en acuíferos numerosos y variados, mientras que muchas son endemismos limitados a un único lugar.

Inicialmente, la fauna subterránea se ha investigado con fines naturalistas o científicos, con el afán de seguir conociendo la biodiversidad existente en nuestro planeta. Sin embargo, los últimos proyectos llevados a cabo, principalmente en Europa, se han desarrollado más en un marco socio-político, con fines estratégicos y conservacionistas, lo cual no significa que los estudios pierdan importancia y rigor científico, sino al contrario.

En España, al igual que el resto de países del entorno mediterráneo, debido a las irregularidades de los ciclos climáticos, resulta necesaria la protección de los recursos hídricos subterráneos. Algunos

políticos y estudiosos vaticinan que algunas de las futuras disputas internacionales pueden venir determinadas por la escasez, la calidad y el control de los recursos de hídricos del Planeta.

Según datos recientes de la ONU, en el Informe sobre Desarrollo Humano de 2006, ya se estimaba que 1.400 millones de personas vivían en cuencas fluviales en las que las tasas de extracción de agua son superiores a sus tasas de recarga. Hay numerosos ríos que están disminuyendo su caudal y el nivel freático asociado a ellos. Estiman que hay 1.800 millones de muertes infantiles anualmente debido a la escasez de agua y a los problemas de saneamiento.

Ejemplos de proyectos de influencia socio-económica son: el proyecto europeo PASCALIS, que surgió del V Programa Marco de la Unión Europea, y el Convenio entre el Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) y la Junta de Castilla y León, que ha permitido el estudio del complejo kárstico de Ojo Guareña, y surge con la finalidad de dar a conocer el mundo subterráneo en general y el Complejo de Ojo Guareña en particular, para la sensibilización de los ciudadanos y el avance del conocimiento científico.

Hasta el año 2006, en Europa no ha existido legislación que considerase específicamente las aguas subterráneas. La Directiva Europea 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, establece unas medidas específicas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas subterráneas.

Estos hechos son una evidencia de la importancia socio-política que está cobrando esta disciplina, que no puede más que seguir avanzando en complejidad y en profundidad en los años venideros.

El agua subterránea se ha utilizado tradicionalmente de modo intensivo en España, en especial en regiones del centro, sur y este peninsular, dedicándose una buena parte de la misma al sector agropecuario. La utilización reiterada y abusiva de pesticidas y abonos químicos durante décadas en la agricultura ha acabado por afectar también a las mermadas reservas de agua de los acuíferos subterráneos, todo lo cual no ha hecho sino incrementar las amenazas que se ciernen sobre el hábitat subterráneo y la fauna que lo habita. Un ejemplo drástico es el conocido descenso del nivel freático en las Tablas de Daimiel, Ciudad Real, durante la década de 1980 (Berzal *et al.*, 1987), para cuya recuperación se comenzó a desarrollar en 1988 una infraestructura que posibilitara la inundación de modo artificial (López-Camacho *et al.*, 1990).

Aunque no existen datos globales de la reducción real del volumen de los acuíferos y del estado de deterioro de los mismos y de su fauna, podemos deducir de lo ocurrido en otros ecosistemas que el tiempo apremia y que debemos intentar acercarnos al conocimiento de la biodiversidad de estos medios lo más rápidamente posible, ya que de lo contrario es probable que una buena parte de la fauna desaparezca antes de que lleguemos siquiera a descubrirla.

El complejo kárstico de Ojo Guareña es un lugar emblemático en la región. Con sus 110 km de galerías topografiadas, es la segunda cavidad de España en desarrollo, la séptima cueva europea en

longitud y una de las veinte mayores del mundo conocidas en la actualidad (Gunn, 2004; Grupo Espeleológico Edelweiss, 2012; Gulden, 2010; G.E. Niphargus, 2012). Desde 1970 es un Bien de Interés Cultural, BIC. El 27 de marzo de 1996 se declaró Monumento Natural y en la actualidad también forma parte de la Red Natura 2000, como Lugar de Interés Comunitario desde el 7 de diciembre de 2004. Recientemente se ha propuesto que pase a formar parte de la red de Parques Nacionales, en la que sería el primer espacio centrado en la conservación del medio acuático subterráneo. En él existen numerosas localizaciones por las cuales circula y en las que se almacena el agua subterránea.

Hoy, la Junta de Castilla y León y el propio Centro de Desarrollo Rural de las Merindades están promocionando el paraje de Ojo Guareña. La Junta de Castilla y León ha financiado la construcción de un centro de interpretación en Quintanilla del Rebollar, con el que quieren impulsar el conocimiento de este enclave de interés, principalmente derivado de su singularidad geológica, hidrológica y biológica. Previamente al desarrollo del turismo, la Junta de Castilla y León ha brindado la oportunidad de poner en práctica un proyecto de investigación para desarrollar estudios de biodiversidad del complejo kárstico de Ojo Guareña. Con él se perseguía conocer mejor la diversidad de fauna invertebrada presente, así como la posibilidad de hacer un seguimiento en el futuro de las poblaciones acuáticas con este referente, para evaluar posibles impactos derivados del turismo o de otro tipo de perturbaciones que puedan alterarla.

1.1. El medio acuático subterráneo

El medio acuático subterráneo es un gran desconocido dentro de los ecosistemas continentales. Esto es debido principalmente a la extensión del medio subterráneo (macro y microescala) y a su inaccesibilidad. Si es difícil para el hombre entrar y progresar por el medio subterráneo, aún lo es más aplicar las metodologías convencionales de muestreo para capturar una fauna invertebrada de la que se desconoce, en la mayoría de los casos, su biología y distribución particular. En este sentido, el medio subterráneo se puede considerar semejante al fondo abisal de los océanos, con el que comparte paralelismos en la morfología y las adaptaciones de su fauna y algunas condiciones ecológicas como la oscuridad permanente, un estado oligotrófico -y la consecuente menor densidad de fauna- y una mayor estabilidad que los ecosistemas de superficie, entre otros aspectos (Margalef, 1976).

Habitualmente se interpretan como términos sinónimos medio subterráneo y cueva. Una cueva, según el diccionario de la Real Academia Española, es: *una cavidad subterránea más o menos extensa, ya sea natural o de construcción artificial*. La definición se ha acuñado en términos extensivos, pero la tendencia es a interpretarla con un sentido más antropológico, refiriéndose a cavidades de gran tamaño que resultan accesibles para el hombre. Sin embargo, el medio subterráneo accesible y apto para la vida de formas diminutas (de tamaño inferior al milímetro) es mucho más vasto de lo que habitualmente se suele imaginar. El espacio que ocupa se compone de fisuras, microfisuras, grietas, intersticios y galerías, de órdenes de magnitud variables, que supone un complejo entramado tridimensional para una

gran variedad de fauna de reducido tamaño. Así, redes que se desarrollan a lo largo de galerías kilométricas, como el caso del complejo de Ojo Guareña, pueden albergar comunidades faunísticas muy grandes y diversas, para las que el tamaño de un complejo kárstico como éste puede suponer un espacio casi infinito.

El mundo subterráneo está establecido en diversos sustratos y presenta diferentes medios, de los cuales Racovitza (1907), el padre de la Bioespeleología moderna, propuso la siguiente clasificación:

- | | |
|--|--|
| <p>- Medio sólido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rocas • Tierra | <p>- Medio líquido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ríos subterráneos • Agua del acuífero |
|--|--|

Posteriormente se ha precisado y completado esta clasificación de los diferentes hábitat subterráneos, basándose en el esquema inicial de Racovitza. Una propuesta más completa y relativamente extendida, es la que aparece en el libro de Bioespeleología de Vandel (1965). Es una clasificación muy general y sencilla:

- Medio sólido	- Medio líquido
<ul style="list-style-type: none"> • Rocoso: cavidades naturales, grietas, cuevas artificiales. • Suelos, edáfico (depósitos sedimentarios): medio endogeo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuevas marinas. • Ríos subterráneos. • Sedimento del fondo de los lagos. • Medio intersticial: incluyendo los bordes de playas arenosas costeras y de lagos, sedimento de los estuarios, bancos de arena acumulados en ríos subterráneos, los acuíferos subterráneos (depósitos freáticos) y las capas freáticas asociadas a los cursos fluviales epigeos. • Fuentes: surgencias de ríos subterráneos y rebosaderos de acuíferos subterráneos.

Para una revisión exhaustiva de todas las clasificaciones propuestas hasta 1991, ver Camacho, 1992. Una categorización más precisa y muy útil para la aproximación al medio acuático subterráneo es la que plantean Juberthie, 2000 y Ward *et al.*, 2000, que se basa en estas características del medio:

- ☐ El tamaño de poro.
- ☐ La conectividad entre los poros.
- ☐ La conductividad hidrológica con el medio superficial.

La Tabla 1.1.a muestra una clasificación de los hábitat acuáticos subterráneos en función de estas propiedades.

Tabla 1.1.a. Clasificación de los hábitat acuáticos subterráneos (Tabla modificada de Malard *et al.* 2002).

	Tamaño de poros	Interconexión entre los poros	Vínculo con el ambiente epigeo

Sedimentos no consolidados			
Zona psammolitoral marina	+	++	+++
Zona psammolitoral de lagos	+	++	+++
Zona hiporréica de ríos	++	++	+++
Biotopo hipotelminorréico /			
sustrato superficial mesovoide	++	++	+++
Nivel freático (llanuras sedimentarias)	++	++	+
Sedimentos consolidados			
Zona anquihalina (roca caliza y volcánica)	+++	+++	+++
Rocas kársticas (p.ej. roca caliza)	+++	+++	++
Areniscas	+	+	+
Rocas plutónicas (p.ej. granito)	++	+	+
Rocas metamórficas (p.ej. gneis)	++	+	+
Rocas volcánicas (p.ej. basalto reciente)	+++	++	+

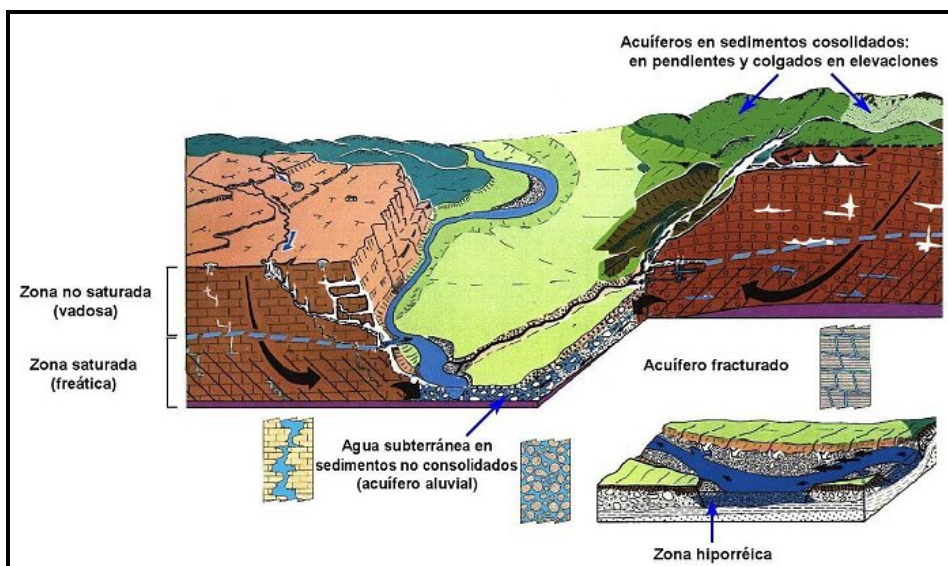
Al repasar brevemente cada uno de estos ambientes enumerados en la Tabla 1.1.a, se ve que en el límite continental con las masas oceánicas pueden existir acuíferos de agua dulce, en playas costeras con sedimentos no consolidados, que se denomina zona psammolitoral marina (Giere, 1993). Los acuíferos también se pueden encontrar asociados a áreas sedimentarias en los lagos (zona psammolitoral de los lagos), en los ríos (zona hiporréica), en áreas rocosas con elementos fracturados o disgregados en superficie (biotopo hipotelminorréico o sustrato superficial mesovoide) y en las llanuras o cuencas de sedimentación (nivel freático). El hiporreos o zona hiporréica es la zona de transición entre el canal de agua y el agua freática (Orghidan, 1959, White, 1993, Bencala, 2000), que contiene una mezcla de ambas masas de agua. El biotopo hipotelminorréico (Mestrov, 1962) es el que ocupa el agua en pedregales superficiales y en fracturas de la roca más externa del manto rocoso.

Algunos estudios se centran en el estudio del medio acuático subterráneo superficial, el cual comprende a los medios epikárstico e hipotelminorréico (MSS, Juberthie *et al.*, 1980). Es el caso de los trabajos de Leijls *et al.*, 2009 y Culver y Pipan, 2011. Es un ejemplo de ecotono que existe entre el medio subterráneo profundo y el medio epigeo, con unas características particulares (Pipan y Culver, 2012): se presenta en la parte más superficial del medio subterráneo (habitualmente en el primer metro de profundidad), lo que proporciona una mayor cantidad de materia orgánica disponible, con

intersticios relativamente amplios, con temperaturas de variabilidad intermedia -más estables que las superficiales, pero con más variación que el subterráneo profundo-.

Los acuíferos que se asientan sobre el lecho rocoso pueden ofrecer ambientes adecuados para la fauna invertebrada. La matriz de dichos sedimentos consolidados pueden estar constituidos por diferentes materiales, según su génesis: arenisca, roca caliza y dolomía, roca plutónica y volcánica y roca metamórfica. Sin embargo, los estudios faunísticos se han centrado tradicionalmente en el estudio de los ambientes de roca carbonatada, que posee gran diversidad de medios ecológicos, resultan más accesibles y en algunas regiones son abundantes en la superficie terrestre. Dentro de la roca sedimentaria, el 20% corresponde a rocas de tipo carbonatado. Se calcula que un 12,5% de la superficie terrestre está ocupada por áreas kársticas (Jones y White, 2012). Los procesos tectónicos generan mayores fracturas en el lecho rocoso, fenómeno extraño en cuencas sedimentarias o en llanuras aluviales, puesto que el sedimento se redistribuye rápidamente y se acomoda en los huecos según se van generando. Cuando aparecen estas fracturas, el proceso de formación de oquedades puede avanzar, principalmente en la roca kárstica, por disolución de la roca en el agua de percolación. En aquellos lugares donde aparecen fracturas de gran tamaño, se forman los acuíferos de mayores dimensiones y desarrollo, con elevada conductividad hidráulica y un tiempo mínimo de residencia del agua en la zona no saturada (figura 1.1.a). Los medios anquihalinos son masas de agua salada, con mayor o menor grado de conexión con el agua marina, que presentan influencia tanto del medio marino como del continental (Stock *et al.*, 1986), pero con efecto atenuado.

Figura 1.1.a. Esquema de un perfil geológico en un ambiente kárstico (modificado de Malard *et al.*, 2002).



El medio acuático subterráneo, en sentido amplio, se desarrolla en el subsuelo en gran variedad de sedimentos consolidados y no consolidados. El agua que contiene supone una proporción muy elevada del agua dulce disponible en los continentes, en estado líquido (alrededor del 97% del agua dulce de

nuestro Planeta), de modo que resulta ser el hábitat de mayor extensión de agua dulce (Castany, 1982). Ocupa matrices rocosas y arenosas, cuyas dimensiones espaciales son muy variables, desde los grandes volúmenes de amplias galerías en cuevas y grietas, hasta los intersticios más diminutos que quedan entre el sedimento fino. La conductividad hidráulica entre las diversas oquedades subterráneas, en conjunción con la conexión entre el ambiente subterráneo y el superficial, determinan la transposición de materia y energía.

Existen acuíferos subterráneos saturados e insaturados de agua, cuyo estado puede variar en el tiempo, en función de las características del acuífero y de la variación climatológica reinante en la región geográfica que lo alimenta. Como ejemplo, un acuífero costero puede rellenarse de agua marina, de agua dulce o de una mezcla de ambas, según la dinámica de las precipitaciones y de las mareas. Existe una continuidad entre los acuíferos presentes en los sedimentos consolidados y aquellos que se encuentran en los sedimentos no consolidados, como aparece sintetizado en este capítulo (figura 1.1.a).

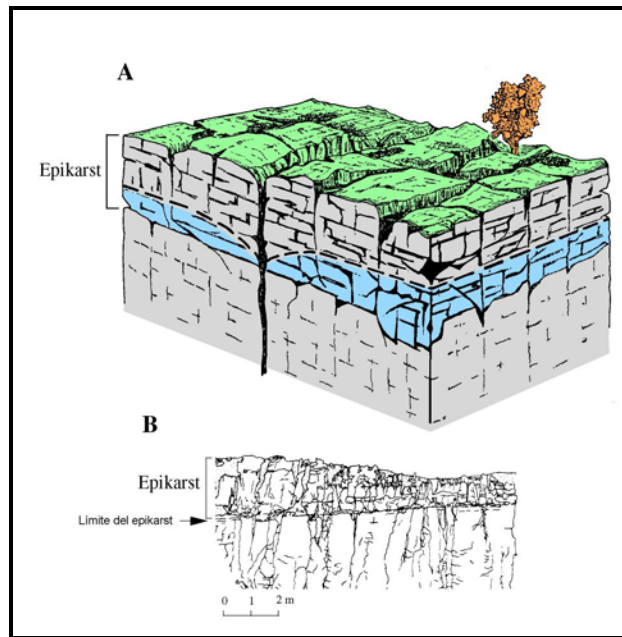
Un acuífero kárstico es aquel que ocupa un terreno con una roca susceptible de sufrir los procesos de karstificación, es decir, que se disocia con la acción del agua y se disuelve en ella por medio de una reacción físico-química compleja (Davis, 1930; Jennings, 1985; White, 1988; Mangin, 1994).

Un sistema kárstico, desde el punto de vista hidrológico, se considera al conjunto de ríos, agua subterránea del aluvión y el resto de acuíferos que forman parte de un área de captación o recepción. El área perimetral de captación puede estar formada por un terreno no kárstico, lo que retarda la llegada del agua hasta el karst y diferencia su composición físico-química respecto a otros sistemas íntegramente kársticos. Dentro de un área kárstica se pueden diferenciar dos unidades (figura 1.1.a):

1. Zona de infiltración, también denominada zona no saturada, vadosa o de aireación, que es la más externa y comunica con el medio epigeo.
2. Zona saturada o de flujo, que limita con la anterior por el nivel freático.

La zona de infiltración (o zona vadosa) puede estar compuesta a su vez de diferentes unidades (acuíferos colgados, charcos, surgencias, *gours*, goteos, etc.). Incluida en la zona de infiltración y ligada a la superficie, existe habitualmente una franja muy lavada y permeable denominada epikarst (Mangin, 1974 y 1994; Pipan, 2005), con pequeñas y numerosas fracturas y huecos de disolución cuya porosidad alcanza entre el 5 y el 10%, y que puede llegar a extenderse varios metros bajo la superficie del suelo; interviene en el proceso de karstificación y localmente puede albergar gran cantidad de agua. El resto de la zona de infiltración, excluida la zona de epikarst, suele tener una porosidad escasa, en torno al 2%. Así pues, el epikarst (figura 1.1.b) se puede definir como la zona más superficial del karst, en la zona vadosa, que supone un ecotono o interfase heterogénea entre el sedimento consolidado (incluidos suelo, regolito, sedimento y detritos) y la roca carbonatada alterada por disolución, que se encuentra parcialmente saturado de agua y tiene capacidad de retenerla y almacenarla localmente, cambiando la dirección de la infiltración vertical que se dirige hacia niveles más profundos del acuífero, hacia la zona freática (Jones & Mulholland, 2000; Gunn, 2004).

Figura 1.1.b. Perfil esquemático de la estructura del epikarst sobre el endokarst (Modificado de Gibert *et al.*, 2005).



La zona saturada es la que presenta mayor organización del flujo del agua y de la porosidad del terreno, que a pesar de ser muy variable puede alcanzar hasta el 15%, que corresponde con el espacio efectivo del acuífero. Dentro de la zona saturada de un acuífero se encuentran dos hábitat diferentes: el acuífero que queda por debajo del nivel freático, saturando el terreno subyacente, y el hiporreos, o medio hiporréico, que se define como la zona que separa el agua del canal del río y el agua que rellena el acuífero freático (Stanford & Gaufin, 1974; Williams, 1989; Cooling & Boulton, 1993; Fraser & Williams, 1998). El concepto de hiporreos es sencillo desde un enfoque teórico, sin embargo en la práctica es muy difícil establecer sus límites, puesto que el agua subterránea que está en contacto con el canal del río y la que rellena un acuífero freático, forman un continuo y presentan un gradiente en su composición.

Estos medios se han estudiado en las últimas décadas, primero de forma independiente y en la actualidad se tiende a un enfoque integrado (Stanford & Ward, 1993; Jones & Mulholland, 2000; Hancock *et al.*, 2005; Galassi *et al.*, 2009b; Gibert y Culver, 2009; Gibert *et al.*, 2009).

Una característica común a todos estos ámbitos, cuando son estrictamente subterráneos, es la ausencia de luz y, por tanto, existe una gran dependencia del medio epigeo en términos tróficos ya que la ausencia de vegetales y fitoplancton hace que el primer eslabón de la cadena trófica casi no exista. En el barro, en la matriz del limo y la arcilla, el metabolismo de bacterias reductoras es el responsable de la única producción primaria del mundo subterráneo (*Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*), que aunque es pequeña en comparación con el flujo energético del medio subterráneo en conjunto, puede ser muy importante a nivel local.

En el medio subterráneo las variables ambientales siguen una dinámica diferente a la del epigeo (Cigna, 2004) y, por tanto, le confieren unas características especiales que condicionarán el establecimiento, la adaptación y la supervivencia de la fauna. Las variables atmosféricas son:

- Temperatura relativamente estable a lo largo del día y del ciclo anual.
- Aire con humedad relativa próxima a la saturación.
- Saturación de algunos gases (principalmente el anhídrido carbónico).

Pueden variar espacial y temporalmente dentro de la cueva. Sin embargo, estos cambios están atenuados con respecto a los que ocurren en el exterior, debido a la escasa conductividad térmica que presenta la masa de roca que separa ambos medios: subterráneo y superficial. Este efecto tampón de la masa rocosa, que da gran estabilidad a las condiciones atmosféricas de la cueva, deriva en que los fenómenos que acaban afectando finalmente a la cueva serán muy acusados. Así ocurre con la circulación de las aguas de percolación, cuyos flujos son lentos y constantes, a excepción de los periodos en que se producen tormentas en el exterior o fusión repentina de nieve, lo que lleva a infiltraciones más abundantes y rápidas con un cierto retraso por el tránsito subterráneo. La fluctuación en el nivel de carga de los ríos subterráneos responde con retraso a los cambios exteriores, pero puede llevar a que las cavidades “entren en carga” haciendo torrentes tumultuosos de los tranquilos ríos. Los cambios de temperatura exterior apenas afectan a la interior. La temperatura media anual de una cavidad es similar a la temperatura media anual en el exterior y las desviaciones respecto de este medio son mucho menores (Ginet & Decou, 1977); pero eso sí, hay grandes variaciones locales dependiendo de la topografía de las cavidades y, por tanto, de las circulaciones subterráneas de aire. Los gases disueltos en las aguas dependen de la naturaleza del sustrato y de la actividad de la fauna y la flora que ocupa el medio circundante, incluyendo la acción humana, que varía a lo largo del año.

Se conocen acuíferos subterráneos de agua dulce con fauna asociada en casi todo el gradiente latitudinal, desde zonas subárticas (como Islandia y el archipiélago de Spitzberg, entre Groenlandia y Rusia) hasta ecuatoriales. Por otra parte, también se ha hallado en cotas altitudinales extremas, desde el nivel del mar, pasando por acuíferos de algunas islas o archipiélagos (por ejemplo de las Islas Canarias y Baleares), hasta algunos lugares de alta montaña. Entre la fauna acuática subterránea más frecuente y abundante se cuentan diferentes grupos de crustáceos que se distribuyen por todo el Globo. Por ejemplo: ostrácodos del género *Danielocandona* Broodbakker, 1983 viven en aguas subterráneas de Venezuela (Danielopol & Hartman, 1986) y géneros cercanos pueblan las aguas subterráneas europeas. En la Amazonia se conocen copépodos de los géneros *Elaphoidella* Chappuis 1929 y *Parastenocaris* Kessler 1913, que están presentes también en latitudes templadas y llegan hasta Rusia (Rouch, 1986). Dentro de Syncarida (crustáceos que habitan exclusivamente las aguas subterráneas de todo el mundo) hay géneros como *Bathynella* Vejdovsky, 1882 cuyas especies viven en latitudes y altitudes muy variadas (Camacho *et al.*, 2006b) y lo mismo ocurre con isópodos del género *Asellus* Geoffroy, 1762 (Henry & Magniez, 1986), o anfípodos del grupo Niphargus (Karaman & Ruffo, 1986).

1.1.1. Una breve historia de la Bioespeleología

El interés por la fauna cavernícola comenzó con nuestros ancestros, como muestran las pinturas rupestres y otros restos arqueológicos y paleontológicos encontrados en galerías subterráneas de diferentes regiones del Mundo. Por ejemplo, en la cueva de Trois-Frères (Ariège, Francia) se encontró una pieza ósea con el grabado de un insecto, a partir del cual Lucien Chopard (1928), estudioso de ortópteros, identificó el género *Troglophilus* Krauss, 1879. Este podría ser el primer documento bioespeleológico conocido: una talla que alguien realizó al observar e interesarse por una forma de vida cavernícola.

Otra aproximación es la predominante en la cultura griega, donde a pesar de la abundancia de cuevas, sus habitantes las consideraban una morada de la muerte. Esto perduró durante mucho tiempo y derivó en la creencia de que el ambiente de las cuevas no podía favorecer el establecimiento y el desarrollo de la vida. Incluso el hallazgo de seres vivos en partes profundas de las cavidades se consideró una anomalía, un fenómeno accidental y excepcional.

Las primeras publicaciones de fauna cavernícola se pueden situar en los Siglos XVI y XVII. En 1541 Jie describió lo que debía ser el pez ciego *Sinocyclocheilus hyalinus* Chen & Yang, 1993, “un pez transparente que sale de las aguas profundas de las cuevas de Alu”, en el actual condado de Luxi, Yunnan, China (Romero, 2001). En 1689 el Barón Johann Weichard Valvasor publicó una descripción de fauna cavernícola, en un estudio que dedicó a su país natal: *Die Ehre des Herzogthum Crain* (Laibach). En dicha publicación habla de un “dragón” que apareció en una fuente de Laibach (Lubiana, Eslovenia). Laurenti describió este anfibio y lo denominó *Proteus anguinus* Laurenti, 1768. En 1799 se dejó constancia acerca de la presencia de un ave cavernícola en la cueva del Guácharo (Venezuela), descrita 18 años mas tarde, el *Steatornis caripensis* Humboldt, 1817. El Conde Franz von Hohenwart recolectó en 1831 el primer insecto cavernícola en la cueva de Adelsberg, dentro de la región de Carniola (Postojna, Eslovenia), el cual fue descrito en el siguiente año por Ferdinand Schmidt dedicándoselo al recolector: *Leptodirus hohenwarti* (Schmidt, 1832). Éste se convirtió en el primer insecto subterráneo con nombre científico.

Sin embargo, el estudio sistemático de la fauna subterránea no comenzó hasta mediados del siglo XIX y principios del XX. En 1849, el zoólogo danés J. C. Schiötte publicó un libro acerca de la fauna que encontró 4 años antes en una visita a las cuevas de Carniola: *Specimen Faunae Subterraneae – Bidrag til den underjordiske Fauna*. La fauna pertenecía a diversos grupos faunísticos: coleópteros, colémbolos, arácnidos –aranéidos y chernétidos– y crustáceos anfípodos e isópodos. Otros naturalistas describieron aranéidos, pseudoescorpiones y miriápodos de esta misma cueva de Postojna, lo que supuso un comienzo en el estudio sistemático en bioespeleología.

El austríaco Adolf Schmidl publicó en 1854 una monografía espeleológica, donde había plasmado los resultados de su exploración en cuevas de la región de Adelsberg (Eslovenia) 5 años antes. En la publicación de la monografía también participaron P.R. Schinner y el botánico Alois Porkomy: *Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Lass*, Wien.

Estos dos últimos trabajos impulsaron el estudio sistemático en bioespeleología, y comenzaron diversas investigaciones en Europa, Norteamérica y en Méjico durante la segunda mitad del siglo XIX (Vandel, 1964). En el año 1907, el padre de la Bioespeleología moderna, Emil G. Racovitza, publicó su obra “Essai sur les problèmes biospéologiques”, que sienta las bases de la biología subterránea. Tuvo la capacidad de identificar los problemas clave y de dar las pautas más adecuadas para abordarlos. Su clara visión del mundo subterráneo sigue vigente un siglo después y los problemas que puso de manifiesto siguen sin resolverse y casi sin abordarse. La biospeleología sigue siendo una ciencia tan emergente como hace 100 años, poco se ha avanzado y pocas metodologías nuevas se han puesto al servicio de esta disciplina. El terreno de la taxonomía es el único en el que ha habido avances significativos. La descripción de especies acuáticas y terrestres ha llevado un ritmo continuo, aunque no muy rápido, lo que llevó a publicar Stygofauna Mundi en 1986 (Botosaneanu ed.), dedicado a la fauna acuática subterránea en sentido amplio, y Encyclopaedia Biospeologica (Juberthie y Decou eds.), de la que se han editado 3 tomos desde 1994 y que recoge toda la información, tanto taxonómica de la fauna subterránea, como del propio medio ecológico en países de los 5 continentes. Actualmente está en fase de reedición (Camacho, comentario personal).

Al inicio de su estudio, el medio acuático subterráneo se describió como un medio simple, aislado, estable, predecible y pobre en recursos alimenticios, pero se concluyó con escaso soporte científico (Packard, 1888 y 1894; Viré, 1899; Racovitza, 1907; Vandel, 1964; Camacho *et al.*, 1992). Del mismo modo, se ha asociado ocasionalmente con una fauna pobre, uniforme y senescente, que debía conferir una escasa diversidad biológica y estaría formada por especies relictas, con escasa capacidad competitiva (Delamare Deboutteville, 1960). Remontando un poco más en el tiempo, Charles Darwin escribió en 1859: “*Estoy sorprendido de que no se hayan conservado más formas de vida ancestral, debido a la menor competencia a la que habrán estado expuestos los escasos habitantes de estos oscuros hábitat*”.

En esta misma línea de razonamiento se han sugerido otros puntos de vista, como el de Chilton (1894) y Verhoeff (1898), que describen la vida en las cuevas como un hecho aberrante. Sin embargo, muy pocos estudiosos han intentado comprobar empíricamente estas afirmaciones (Ginet & Decou, 1977; Gibert *et al.*, 1994b).

Hay ciertas bases para pensar que el medio subterráneo no es más simple que cualquier otro medio epigeo (Barr & Kuehne, 1971; Stoch, 1995; Sket, 1999a; Pipan & Culver, 2005; Deharveng *et al.*, 2009). Rouch introdujo en 1977 el concepto de *ecosistema subterráneo*, con el cual pone se manifiesto la complejidad de este ambiente. Como escribe Cavaille en su trabajo, en 1964, los ecosistemas cavernícolas están compuestos por un mosaico de microhábitat, dispuestos en una red tridimensional de fisuras, pozos, oquedades, galerías y grietas de diferentes tamaños, que están conectados entre sí y con el exterior. Pero se han realizado pocos estudios acerca de la función que

desempeña esta red, y sobre el efecto barrera o de difusión que estos microambientes pueden ejercer (Gibert *et al.*, 1994b; Stanford & Ward, 1993).

Para denominar la fauna que habita el medio subterráneo, además del término “fauna subterránea”, se han utilizado muchos otros términos, tratando de relacionarla con los diferentes hábitat subterráneos que pueden considerarse. Los más frecuentes y admitidos actualmente son: fauna troglobia o troglota para los grupos que habitan los medios terrestres y fauna estigobia o estigofauna para aquella que habita en medio acuático (Camacho, 1992).

1.1.2. Características de la fauna subterránea

La fauna subterránea ha seguido un largo proceso evolutivo de adaptación a su hábitat, marcado por diversas tendencias que la hacen más competitiva ante las características peculiares del medio hipogeo, por un lado en el medio cavernícola y por otro en el intersticial. Las diferentes adaptaciones que presenta la fauna han servido para hacer diversas clasificaciones, en función de los caracteres considerados: etológicos, biológicos, ecológicos, fisiológicos, etc. (Camacho, 1992); pero lo cierto es que no se ha llegado a estandarizar una clasificación única y la mayoría de los autores usa aquella que es más comprensible en el contexto de sus investigaciones. En este trabajo se ha optado por una solución pragmática que parece adecuada para que el lector sepa en todo momento a qué se refiere. Así la fauna recolectada en el medio acuático se reparte en 3 categorías:

- *estigobia*, si habita y desarrolla su ciclo vital completo en las aguas subterráneas,
- *estigófila*, si reside indistintamente en el agua subterránea o epigea y transcurre parte de su ciclo vital en el medio hipogeo, y
- *estigoxena*, si es propia del medio epigeo, donde completa su ciclo vital íntegramente, pero ocasionalmente se encuentra en aguas subterráneas.

Los límites entre estas categorías son difíciles de establecer en algunas ocasiones, sobre todo entre las dos primeras categorías. Incluso hay determinadas especies que unos autores las consideran estigobias y otros les dan otra categoría, como ocurre, por ejemplo, con *Bryocamptus aquaeductus* Borutzky, 1934: descrita a partir de unas muestras procedentes de la parte norte del Cáucaso, se ha considerado estigobia durante varias décadas Kiefer (1967); pero al recolectar la especie Apostolov y Michailova-Neikova en fuentes de Bulgaria y Turkmenistán en 1973, ha pasado a la categoría de especie estigófila. El hallazgo en muestras epigeas de especies antiguamente consideradas estigobias ha sido relativamente frecuente en este y en otros géneros: *Bryocamptus* Chappuis, 1928, *Moraira* Scott T. y Scott A., 1893 y *Attheyella* Brady, 1880 (Rouch, 1896).

La fauna subterránea presenta adaptaciones a su medio de vida (tabla 1.1.2.a), que en numerosas ocasiones se han llamado troglomorismos desde la publicación de este término por Christiansen en 1962. Algunas de estas adaptaciones, metabólicas y funcionales, son ampliamente conocidas: despigmentación parcial o total de la cutícula, reducción de la capacidad visual hasta la

ceguera, derivada de una anoftalmia parcial o total, y disminución de la tasa metabólica que, por ejemplo, provoca tasas reproductivas menores en relación a sus parientes del medio epigeo (Gibert *et al.*, 1994a).

Tabla 1.1.2.a. Características comunes en la fauna subterránea (Modificado de Camacho *et al.*, 1992)

<p><i>Caracteres llamados “regresivos” y convergentes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Despigmentación • Pérdida de los ojos <p><i>“Preadaptaciones” o “exaptaciones”</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de sensibilidad táctil y química • Mayor eficiencia energética • Desarrollo de individuos pedomórficos <p><i>Tendencias en el ciclo de vida</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Adopción de una estrategia K • Desaparición de ciclos anuales reproductivos • Prolongación de la longevidad y de las fases del ciclo de vida • Tendencia al desarrollo directo y rápido de las crías <p><i>Tendencias en la adaptación de las estrategias reproductivas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja tasa de fecundidad • Aumento del tamaño del huevo • Disminución del número de los huevos
--

Hay una serie de características comunes entre todos los ambientes subterráneos, sin embargo la respuesta de los animales que los habitan es diferente. Existe una tónica general, caracteres convergentes y unas tendencias adaptativas en la fauna subterránea que se pueden ver resumidas en la tabla 1.1.2.a. Antiguamente, la pérdida o reducción de estructuras corporales, de propiedades o de funciones se consideró como un tipo de “evolución regresiva” (Lamarck, 1809; Weissman, 1889; Culver, 1982). Desde un punto de vista morfológico descriptivo se pueden considerar caracteres regresivos aquellos en los que ha habido una pérdida de estructuras respecto de otras especies referentes no estigobias. Sin embargo, desde un punto de vista evolutivo, se deben considerar caracteres convergentes, pero no regresivos, ya que la evolución *per se* hace avanzar hacia caracteres más ventajosos para la especie, en las condiciones en que vive en una zona determinada. Esta pérdida de propiedades (pérdida o reducción de los ojos y de la pigmentación) se ha observado en fauna de diferente procedencia taxonómica, geográfica y ecológica. Así se observa

en fauna de los fondos abisales, de medios edáficos y en fauna cavernícola (en algunos vertebrados, como la salamandra *Proteus anguinus* y el pez *Astyanax mexicanus*, De Filippi, 1853 y en numerosos invertebrados, p.e. en todos los sincáridos batineláceos y abundantes crustáceos de otros órdenes).

El mayor número de receptores táctiles y químicos que se ha observado en algunas especies subterráneas, más abundantes que en otras epigeas, se ha interpretado como una compensación por la pérdida de la visión y se ve favorecida en aquellos casos en los que aumenta la longitud de los apéndices, segmentos o estructuras corporales en que se sitúan dichos receptores. Sin embargo hay ejemplos que demuestran que no es una regla establecida en toda la fauna subterránea, como en los batineláceos que carecen de estatocistos, o en algunos isópodos subterráneos que presentan un número muy reducido de estructuras sensoriales en las antenas.

En cuanto al *régimen alimentario* se puede decir en general, tanto de la fauna terrestre como de la acuática, que se ve obligada a adoptar una dieta variada, omnívora (Ginet & Decou, 1977; Culver, 1994), puesto que los recursos son habitualmente escasos en las cuevas. Existen algunos grupos faunísticos que habitan las cuevas y que poseen una dieta específica: depredadores pertenecientes a los aranéidos, pseudoescorpiones, *Aphaenops* Bonvouloir, 1861 (coleópteros carábidos), etc. Sin embargo, la mayoría de la fauna subterránea tiene una alimentación detritívora u omnívora. Por ejemplo, se ha observado que el género *Niphargus* Schiödt, 1849 (crustáceos anfípodos) puede alimentarse de restos vegetales frescos o macerados, restos animales en descomposición, animales muertos (gammáridos y moluscos) y también de animales vivos (oligoquetos del género *Tubifex* Lamarck, 1816).

Diversos estudios indican que el metabolismo de los organismos epigeos es más acelerado que el de los organismos subterráneos (Eigenmann, 1907; Burbank *et al.*, 1948; Olivereau & Francotte-Henry, 1956). Derouet (1949 y 1953) y Dresco-Derouet (1959) realizaron estudios sobre el metabolismo de tres especies: un anfípodo epigeo, *Gammarus pulex* (Linnaeus, 1758), un anfípodo subterráneo (*Niphargus virei* Chevreux, 1896) y un isópodo subterráneo (*Caecosphaeroma burgundum* Dollfus, 1898); en dichos estudios, las dos formas subterráneas, *Niphargus* y *Caecosphaeroma* Dollfus, 1896, presentan una tasa metabólica 10 a 15 veces inferior que la que presenta la forma epigea.

Hervant y col. han realizado estudios de la reducción de la tasa metabólica por inanición temporal en salamandras (Hervant *et al.* 2001), utilizando experimentalmente la especie epigea *Euproctus asper* (Dugès, 1852) y el hipogeo *Proteus anguinus* por una parte; y en isópodos (Hervant & Renault, 2002), experimentando con el epigeo *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) y con el subterráneo *Stenasellus virei* Dollfus, 1897. Tanto en el caso de las salamandras, como en el caso de los isópodos, se detectó una respuesta metabólica gradual a la inanición en la especie subterránea, mediante la que va utilizando las diferentes reservas energéticas y reduciendo el

consumo, mientras que la especie epigea no reduce la tasa metabólica y consume rápidamente la reserva energética.

Eigenmann estudió la reducción de la tasa metabólica (Eigenmann, 1907) que muestra el pez troglobio *Amblyopsis spelaeus* De Kay 1892, que presenta una frecuencia de apertura del opérculo respiratorio cuatro veces menor que su referente epigeo *Chologaster papilliferus* Forbes, 1882. La presencia de caracteres pedomórficos, como la respiración branquial que conservan algunas salamandras adultas (*Proteus anguinus*, *Typhlotriton spelaeus* Stejneger, 1892 y *Gyroneophilus subterraneus* Besharse & Holsinger, 1977) se ha interpretado como una compensación a la escasez de alimento (Camacho *et al.* 1992), ya que en el medio acuático subterráneo existen mayores aportes de materia orgánica que en el terrestre y con las branquias pueden permanecer durante más tiempo en el medio acuático durante su desarrollo.

Mientras que muchos crustáceos epigeos tienen ciclos de vida cortos y requieren un aporte importante de alimentos, en el caso de algunos cavernícolas se han llegado a mantener vivos y sin aporte de nutrientes largos periodos de tiempo. Así, con la alimentación exclusiva del limo arcilloso calizo subterráneo, algunos individuos juveniles del género *Proteus* Laurenti, 1768 consiguieron desarrollarse durante un año, alcanzando un tamaño que era el triple del inicial (Ginet y Decou, 1977). Se conocen algunos casos de fauna que ha sobrevivido durante un periodo de 2 años sin aporte alimentario: Ginet (1960) habla del caso de un individuo de *Niphargus virei* (anfípodo), Packard (1888) lo observó en un pez cavernícola, *Amblyopsis spelaeus* De Kay, 1842, procedente de la Cueva Mammoth (EEUU) y con individuos de salamandra del género *Proteus*, han visto que sobreviven 2 años (Kammerer, 1912; Vandel, 1964) y hasta un periodo de 8 años (Gadeau de Kerville, 1926; Vandel, 1965). La explicación que se da a este hecho es, por una parte, que la fauna subterránea posee un metabolismo ralentizado y, por otra parte, que esta fauna aprovecha una producción primaria de algas diatomeas y de bacterias autótrofas, las cuales habitan el limo y pueden ser localmente abundantes.

Los Bathynellidae, grupo estrictamente subterráneo, desarrollan un único huevo por puesta. Además liberan el huevo al agua en un estadio muy avanzado de desarrollo, para asegurar así su supervivencia. El cuerpo de la madre protege el huevo durante meses. Una vez expulsado el huevo lo adhieren a un grano de arena del sustrato y eclosiona enseguida, dando lugar a una larva, de aspecto similar al adulto pero con menor número de patas (4 ó 5 pares, según las especies) que en mudas sucesivas irá madurando y adquiriendo las patas que le faltan (7 pares es lo habitual) así como los segmentos de antenas, patas y la sedación restante característica del estado adulto (el desarrollo embrionario de *Bathynella natans* Vejdovsky, 1882 dura 9 meses). En este grupo de crustáceos todas las fases de la metamorfosis tienen lugar dentro del huevo, de forma que la larva que nace está en un estado de madurez muy avanzado lo que resulta en un mayor éxito de supervivencia. En algunos grupos de crustáceos, como es el caso de los isópodos, incluso se

desarrolla en el cuerpo de la madre una estructura en forma de bolsa, un marsupio en el que transportar al embrión para mantenerlo protegido el mayor tiempo posible.

Así, la fauna acuática subterránea sigue una estrategia reproductiva conocida como *estrategia de la K*, que significa poca prole en cada ciclo reproductor pero que nace en estadios muy avanzados del desarrollo para asegurar su supervivencia y a esto se une el cuidado parental post-eclosión en algunos grupos. En contraste, los microcrustáceos epigeos se desarrollan como *estrategas de la r*, muchos huevos en cada puesta, que tardan poco tiempo en eclosionar y de los que nacen formas en estadios larvarios primarios (por ejemplo las larvas nadadoras *nauplius* de los copépodos), que requieren completar todas las fases de la metamorfosis en ambientes muy hostiles en los que mucha descendencia sucumbe (Jakobi, 1954, Vandel, 1964, Camacho *et al.*, 1992). Dentro del género de anfípodos *Niphargus*, la frecuencia de los ciclos de muda varía, de modo que en los estigobios pasan alrededor de 8 meses entre mudas y los epigeos completan cada ciclo de muda en periodos de 1 a 3 semanas (Ginet, 1960). En la publicación de Ginet *et Decou*, 1977, se encuentra un ejemplo de comparación del ciclo vital entre un género de anfípodo que presenta numerosas especies epigeas (*Gammarus* Fabricius, 1775) y una especie estigobia o hipogea del mismo grupo (*Niphargus virei*), en el que comparan los datos conocidos de ambos (tabla 1.1.2.b).

Tabla 1.1.2.b. Comparación de duración de etapas del ciclo de vida de anfípodos epigeos y estigobios (Extraído de Ginet *et Decou*, 1977).

Etapas del ciclo vital	<i>Gammarus</i> Fabricius, 1775	<i>Niphargus virei</i> Chevreux, 1896
Desarrollo embrionario	2 a 3 semanas	3 meses
Incubación marsupial	1 a 2 días	1 mes
Etapas juveniles	1 a 3 meses	2,5 años
Cadencia de puesta	1 mensual	1 anual (o más tiempo)
Mudas	1 en periodos de 1 a 3 semanas	5 o 6 en estadio juvenil 1 o 2 en estadio adulto anualmente
Mayor longevidad medida	1 a 2 años	más de 10 años

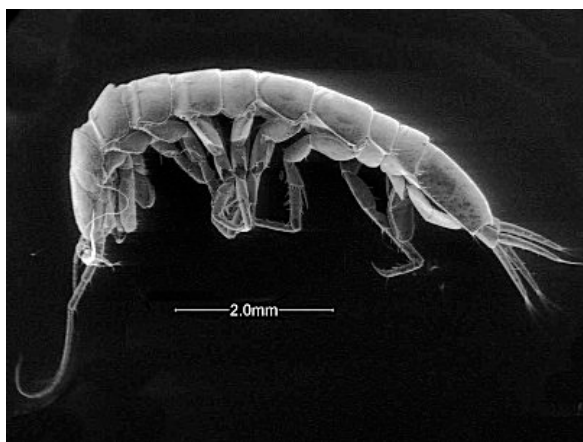
Las diferencias en el ciclo de vida de estos dos grupos son grandes: en el caso de la especie estigobia (*Niphargus virei*), la duración de las etapas de desarrollo es de aproximadamente un orden de magnitud superior (desarrollo embrionario, etapa juvenil, cadencia de puesta y mudas). En la misma publicación se muestra un ejemplo de comparación entre dos grupos de *Stenasellus* Dollfus,

1897, uno subterráneo y el otro epigeo, además de otras formas epigeas e hipogeas de especies de otros grupos faunísticos: copépodos harpacticoides y planarias del grupo de los tricládidos.

Dentro de la fauna subterránea se pueden distinguir dos tendencias adaptativas generales en la morfología externa en función del hábitat que ocupa:

- a) **Fauna estrictamente cavernícola** (fotografía 1.1.2.a): habita espacios amplios en relación a las dimensiones de su cuerpo. Tanto la fauna terrestre como la acuática presentan con frecuencia alguna de las siguientes características: alargamiento relativo de la longitud corporal, hipertrofia de los apéndices marchadores o natatorios (donde se sitúan los receptores sensoriales) y de las antenas, que les confiere mayor sensibilidad ante estímulos ambientales, químicos o táctiles.
- b) **Fauna intersticial** (fotografía 1.1.2.b): vive en el agua que rellena las oquedades que quedan entre los granos de arena, las cuales tienen diferentes tamaños y que se extiende bajo el lecho de los ríos (zona hiporréica) y en sus márgenes. Habita espacios angostos, lo que supone un límite para el tamaño corporal. Muestran una tendencia hacia unas características propias, diferentes de las de sus parientes epigeos y cavernícolas de vida libre. Con el tamaño corporal general reducido, su cuerpo es relativamente más alargado, agusanado y con formas más redondeadas, la superficie cuticular contiene sedas menos patentes e incluso reducen su número; las antenas, los apéndices marchadores y los natatorios poco útiles en este medio, son de dimensiones más reducidas (Vandel, 1964; Culver, 1982; Camacho *et al.*, 1992).

Fotografía 1.1.2.a. Isópodo Stenasellidae adaptado a la vida cavernícola. Imagen obtenida con el microscopio electrónico ambiental (ESEM).



Fotografía 1.1.2.b. Sincárido Bathynellidae adaptado a la vida en el medio subterráneo intersticial. Imagen obtenida en el microscopio óptico.



1.2. Zona de estudio: El Monumento Natural de Ojo Guareña

Se trata del segundo complejo kárstico de mayor longitud conocido en España, con 110 Km de conductos subterráneos topografiados (G.E. Edelweiss, 1986a, 1986b y 2007; Gulden, 2010; Madelaine, 2006; Gunn, 2004). Se sitúa en el octavo puesto de las cavidades más grandes de Europa y entre las 20 mayores en todo el Planeta (Gulden, 2010).

El acuífero kárstico de Ojo Guareña ocupa una superficie de 21 Km². Los 110 Km de conductos subterráneos resultan del complejo entramado de una red formada por 20 cuevas principales. La publicación monográfica del G.E. Edelweiss del año 1986 contiene un inventario de más de 350 cavidades de diferente envergadura, la mayoría de ellas situadas en la Merindad de Sotoscueva, aunque algunas pertenecen a los términos municipales de Espinosa de los Monteros y Merindad de Montija. La red principal del Complejo de Ojo Guareña, con algo más de 100 Km de desarrollo, engloba a 11 de las cuevas mayores que están comunicadas entre sí (Eraso *et al.*, 2001) y se desarrolla bajo una superficie de 15 Km². Más aún, bajo una superficie del terreno de sólo 5 Km² se encuentra casi el 90% del sistema principal, 90 Km. de galerías, lo que pone de manifiesto el complicado entramado que se dispone en 6 niveles subterráneos.

De los 6 niveles topográficos, los intermedios fueron los primeros en explorarse. Posteriormente se comunicaron con los niveles superiores, que son más secos, y con los inferiores, que se inundan frecuentemente.

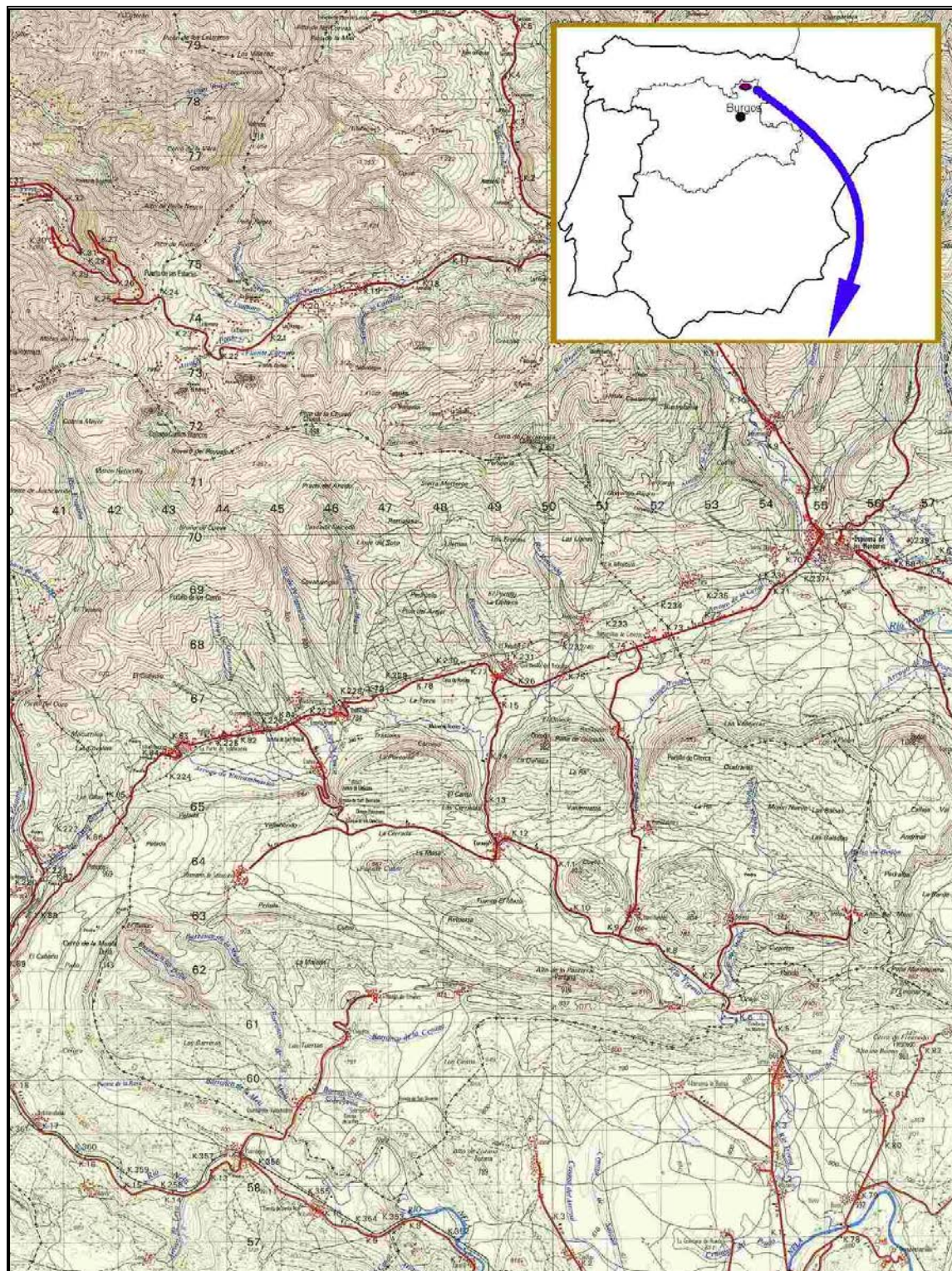
Los 2 niveles superiores (primero y segundo) se corresponden con las galerías superiores de la Cueva de San Bernabé. El tercer nivel contiene las galerías inferiores de San Bernabé, la Galería de las Huellas y Galería Macarroni, principalmente. El cuarto nivel alberga la mayor parte del resto del desarrollo topográfico de todo el conjunto, abarcando galerías del Sector Central, del Sector Dulla, el Dédalo Oeste y la Segunda Axial; es el nivel por el cual discurre el río Guareña, que se sume en los denominados “Ojos del Guareña” y que además recibe agua del Arroyo de Villamartín en las épocas de mayor abundancia hídrica, llegando a anegar gran parte de sus galerías. El quinto nivel se ve inundado periódicamente por esos dos mismos cursos de agua que alcanzan puntualmente el nivel suprayacente. El sexto nivel se encuentra en el este, comprende galerías de la Segunda Axial, descendiendo por la Galería de Italianos, y galerías del Sector Este-Huesos. Gran número de las galerías de este último nivel se encuentran total o parcialmente inundadas durante la mayor parte del año, con sifones en sus extremos orientales (Martín & Ortega, 2001; G.E. Edelweiss, 1986).

1.2.1. Situación geográfica y antecedentes históricos

El Complejo Kárstico se encuentra en el área caliza del norte de España, en el ramal pirenaico que se adentra de oeste a este en la Península y separa la Meseta Castellana y la Cornisa Cantábrica. Ocupa un área septentrional de la provincia de Burgos conocida por las Montañas de Burgos, en la comarca de Las Merindades (G.E. Edelweiss, 1986). Concretamente está excavado en el Valle de Sotoscueva, Merindad de Sotoscueva, entre las localidades de Villarcayo, Espinosa de los Monteros

y Puente de y. Limita al norte con el propio Valle de Sotoscueva, al este con el río Trueba y al suroeste con el río Nela (figura 1.2.1.a).

Figura 1.2.1.a. Situación geográfica del paraje, Complejo Kárstico de Ojo Guareña.



La altitud del Valle de Sotoscueva se encuentra entre los 680 y los 750 m.s.n.m. Encajado entre la vertiente sur de la Sierra de los Morteros –que alcanza altitudes superiores a los 1.300 m.s.n.m.– y la crestería caliza en la que se sitúa Ojo Guareña. Estos picos calizos se extienden desde Pelada (1.027 m.s.n.m.) en el oeste, hasta Bedón (1.088 m.s.n.m.) en el este. Existen unos cejos lobulados que se conocen localmente como “las conchas de Ojo Guareña”, con unas incisiones entre los cejos, consecuencia de la erosión que ejercen los cursos de agua que los atraviesan (Martín & Ortega, 2001).

Las primeras referencias en torno al Complejo aparecen en el siglo XIX: Madoz describe en 1845 el sumidero del río Guareña y la surgencia que hay junto a Hornillayuso, la que se conoce hoy como La Torcona, y comenta que el río recorre entre esos dos puntos la distancia de una legua, 4 Km. En 1896, Puig y Larraz edita *Cavernas y Simas de España* donde describe la Cueva de Trema como un *punto de resurgencia de las aguas después de un recorrido subterráneo de 5 Km.* y la Cueva de San Bernabé, que *posee un conjunto de galerías que superan los 3 Km., en dirección oeste-este.*

Sáenz publica en 1933 las primeras referencias geológicas en el Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Y en 1956 se comenzaron las primeras exploraciones organizadas en el interior de la red de galerías subterráneas, con el fin de encontrar conexión entre la entrada de la Dolina Palomera y la Sima de Dolencias (G.E. Edelweiss, 1986a y 1986b; Puch, 1998; Ruiz, 2002).

Transcurridos 15 años de exploraciones, en 1971 se alcanzaron los 30 Km de desarrollo topográfico y se realizaron los primeros hallazgos arqueológicos de arte rupestre. En 1971, participaron en las exploraciones espeleólogos extranjeros, de varios países europeos: Inglaterra, Italia y Austria; y españoles de diversas regiones: Cataluña, País Vasco, Navarra y Castilla y León. Ya en 1985 se superaron los 88 Km de galerías topografiadas en el conjunto del Complejo (Puch, 1987), mientras que en la actualidad, como se ha comentado anteriormente, ya se han rebasado los 110 Km de galerías topografiadas (G.E. Edelweiss, 2012).

En 1970 se halló un yacimiento arqueológico con un registro completo desde el Paleolítico Medio hasta la Edad Media, lo cual promovió su declaración de Monumento Histórico Artístico. Desde entonces se han encontrado evidencias de ocupación de la cueva como pinturas rupestres (Sala de las Pinturas, Sala Cartón, Sala de la Fuente, etc.), huellas ancestrales, herramientas y cerámica (Ortega & Martín, 2001).

El 27 de marzo de 1996 el entorno de Ojo Guareña se declaró Monumento Natural (Decreto 61/1996), y pasó a formar parte de la Red de Espacios Naturales de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, dada la singularidad y fragilidad del sistema. La extensión del Parque es de 13.850 Ha y ocupa parte de tres términos municipales: Merindad de Sotoscueva, Merindad de Montija y Espinosa de los Monteros. Posteriormente, en 2004 se ha incluido en la Red Ecológica Europea Natura 2000, con la figura de Lugar de Interés Comunitario (LIC) y en la actualidad se ha propuesto para que forme parte de la Red de Parques Nacionales en España.

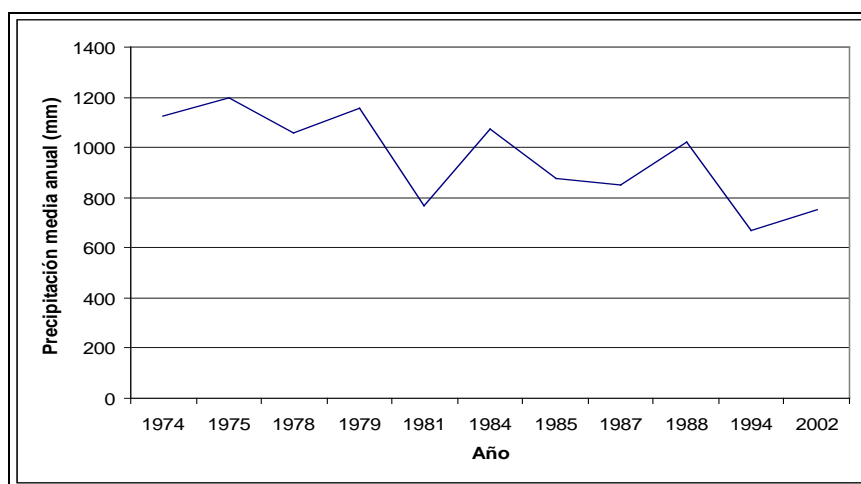
1.2.2. Climatología y bioclimatología

Las Montañas de Burgos están directamente influenciadas por los fenómenos climáticos de origen atlántico, al mismo tiempo que por los de origen mediterráneo. Orográficamente se incluyen en el dominio morfológico de la Cordillera Cantábrica (Ortega, 1974).

Existen registros pluviométricos completos de 11 años, dentro del periodo comprendido entre 1974 y 2002 (figura 1.2.2.a). En este periodo se ha detectado una fluctuación notable: en 1994 se midió una precipitación total anual de 669,9 mm, mientras que en 1974, 1975 y 1979 se superaron los 1.100 mm. (Datos cedidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro, procedentes de la estación meteorológica de Espinosa de los Monteros). La media de esos 11 años es de 958,1 mm anuales y la media anual calculada entre 1930 y 2000 es de 1.026,5 mm, según datos de la página web de la Confederación Hidrográfica del Ebro en 2010, lo que corresponde con un ombroclima húmedo (600 a 1.400 mm de precipitación media anual).

Entre 1993 y 2003, teniendo en cuenta las precipitaciones medias mensuales, existe una gran irregularidad: en el mes de enero varía desde los 16,1 mm de 1996 hasta los 138 mm de 2001; en febrero, en 1997 se registraron sólo 12 mm, mientras que en 1996 se habían recogido 264 mm.

Figura 1.2.2.a. Variación en la precipitación media anual desde 1974. Sólo se incluyen los años con registro completo. Datos de la estación meteorológica de Espinosa de los Monteros (Confederación Hidrográfica del Ebro).

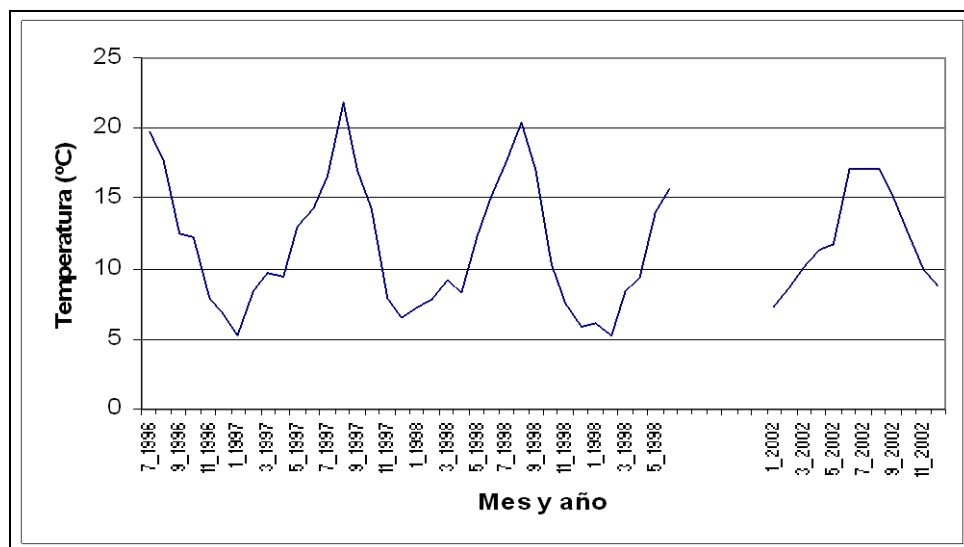


Dada su situación geográfica y altitudinal, pertenece a la Región bioclimática Mediterránea, que se adentra hacia el noroeste hasta el límite entre Castilla y León con Asturias y Galicia, donde comienza la Región Eurosiberiana. Según su posición altitudinal, en torno a los 700 m.s.n.m., pertenece al Piso Supramediterráneo (600 a 1.200 m.s.n.m.).

En relación con la temperatura atmosférica, desde 1993 existe un registro de 4 ciclos anuales completos de las temperaturas medias diarias. El promedio de las temperaturas medias diarias de estos 4 ciclos anuales es de 11,9 °C. Las temperaturas medias mensuales más bajas se han

registrado dos veces en febrero (5,1 y 5,2 °C) y otra vez en diciembre (5,8 °C). Las medias mensuales más elevadas se corresponden con las de dos meses de agosto, en los que las medias fueron 21,4 y 21,8 °C. La temperatura máxima registrada en este periodo fue de 42 °C, en agosto de 1998, y la mínima de -9 °C, en febrero de 2003.

Figura 1.2.2.b. Evolución de la temperatura media mensual en la estación meteorológica de Espinosa de los Monteros (basado en series de datos cedidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Periodo: julio de 1996 hasta enero de 2003).



Estos datos ponen de manifiesto la continentalidad marcada del clima en la comarca, con unos valores extremos de las temperaturas y con unas precipitaciones que presentan un régimen discontinuo con grandes fluctuaciones.

En la figura 1.2.2.b se observa la fluctuación estacional en la temperatura media mensual (obtenida a partir de los datos de temperaturas medias diarias), con las menores temperaturas medias registradas en los meses de enero y febrero y las más elevadas durante los meses de julio y agosto.

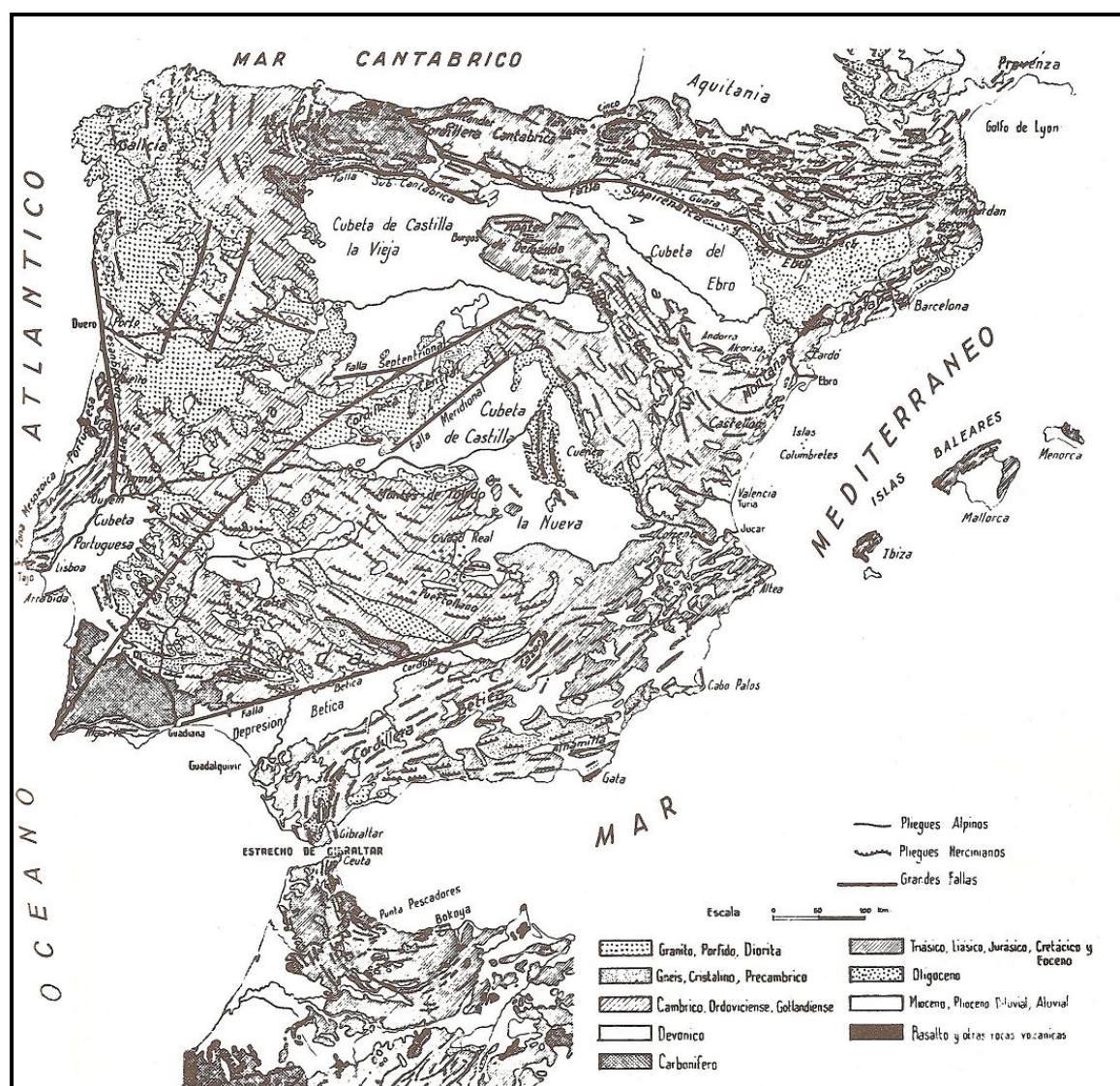
1.2.3. Geología y geomorfología

Atendiendo a un mapa geológico de la Península Ibérica, figura 1.2.3.a, se observa que el área de Ojo Guareña, que ocupa la fracción más septentrional de la provincia de Burgos, se corresponde con el extremo del ramal occidental calizo pirenaico. Este ramal presenta una franja de intrusión de este a oeste que alcanza las provincias de Palencia y Cantabria, hace de barrera y separa la Meseta Castellana de la Cornisa Cantábrica.

El Macizo Ibérico tiene una superficie dominada por una cubierta de roca caliza, de origen Mesozoico (245- 65 m.a.), que reposa sobre el zócalo herciniano cuya formación se remonta a la Era Paleozoica (Devónico y Carbonífero, entre 400 y 300 m.a.). Este zócalo se encuentra bajo la

influencia de la falla subpirenaica y del Ebro, que alcanza la provincia de Burgos por el nordeste y se pone de manifiesto en superficie con la presencia de un rosario montañoso, un conjunto de valles y sierras que están alineados: los Obarenes, la Sierra Llan y la de Oña, la Tesla con Valdivielso, Caderechas y el Butrón, Bricia, Zamanzas y Manzanedo. La formación de estos plegamientos alpinos, se remonta al Oligoceno y el Mioceno (entre 35 y 10 m.a.), originados por la presencia de la falla subpirenaica y del Ebro, que levantó las cordilleras de calizas jurásicas y cretácicas (G.E. Edelweiss, 1986).

Figura 1.2.3.a. Estructura geotectónica de la Península Ibérica. Reproducción del mapa de Julivert, M. y Fontbote, J.M. (1972) Mapa Tectónico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. E: 1:1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España. (Imagen extraída de G.E. Edelweiss, 1986).

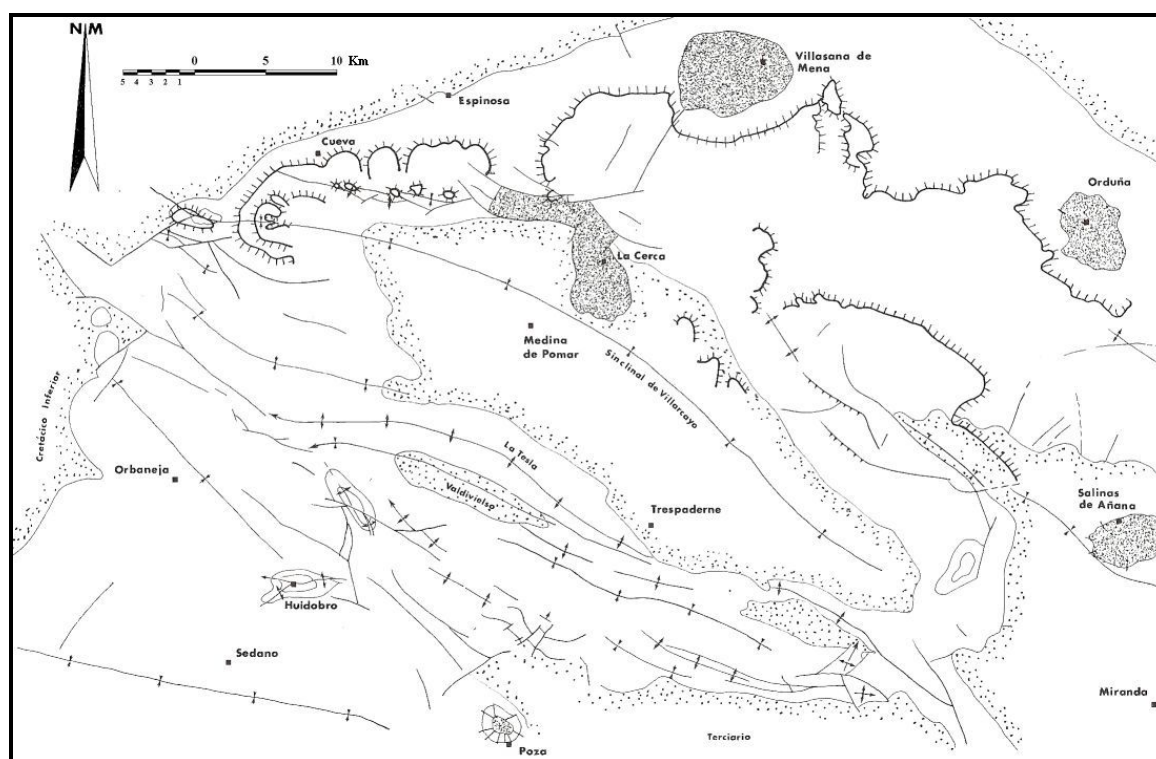


El conjunto de los afloramientos que se observan en la región del Complejo pertenecen principalmente al Cretácico Superior (96-65 m.a.), a excepción de algún material del Cretácico

Inferior (135-96 m.a) en el extremo noroccidental. Sobre los estratos del Cretácico Superior también existen depósitos del Terciario (65 m.a.) y del Cuaternario (1.65 m.a.), éstos en las cuencas de drenaje de los ríos.

El acuífero, y por tanto la red de galerías, están incluidos en los niveles calcáreos cuyo origen se remonta al Turoniense Inferior (91-88 m.a.) y al Coniaciense (Cretácico Superior) (88-87 m.a.), con un espesor de 120 a 150 m de potencia. Se encuentra sobre un pliegue sinclinal E-W, de vergencia este y con cierre periclinal por el oeste. La zona saturada abarca 1,5 Km de anchura y ocupa ambos flancos del pliegue sinclinal, figura 1.2.3.b. La red de galerías está excavada en el Valle de Sotoscueva, el cual está orientado transversalmente a los cursos principales de agua que se dirigen de norte a sur. Se desarrolla también a ambos lados del eje del pliegue geológico y ocupa tanto parte del acuífero saturado, como la zona epifreática o de fluctuación estacional (Eraso *et al.*, 2001).

Figura 1.2.3.b. Plano geomorfológico del entorno de Medina de Pomar, que incluye el valle de Sotoscueva en el extremo noroccidental (Extraído de G.E. Edelweiss, 1986).



1.2.4. Hidrología e hidrogeología

La recarga hidrológica se realiza por dos vías: una fuente difusa, la lluvia que recoge esa superficie del complejo y que aporta unos 30 Hm³ anuales, además de dos focos permanentes (los ríos Trema y Guareña) y uno temporal (el arroyo de la Hoz), que aportan una media de 85 Hm³

anuales (Ruiz, 2002). Este cauce de agua subterránea acaba en diversas surgencias temporales, como el Torcón y la Torcona, por donde manan aproximadamente 100 Hm³/año.

Los dos primeros cursos de agua se sumen en sendos ponores (o sumideros) penetrables (Eraso *et al.*, 2001), de modo que todo su cauce pasa directamente al interior de la Cueva, excepto en las épocas de deshielo o de intensas precipitaciones, cuando se colapsa la entrada del agua: el río Trema fluye por la superficie y el Guareña forma un embalsamiento temporal de agua. A medida que desciende el nivel de las aguas, el volumen retenido se va reduciendo y penetra por el mismo sumidero que recibe el nombre de Ojo del Guareña. También se forman pequeños arroyos en la superficie del Sistema: el más importante es el de Villamartín de Sotoscueva. En las ocasiones de mayor flujo hídrico, este arroyo transcurre en superficie hasta alcanzar la Sima Dolencias y se precipita por ella hacia el interior de la Cueva, recorre menos de un 500 m y confluye con el río Guareña en su curso subterráneo por la Galería Principal (Martín & Ortega, 2001).

Existe un acuífero subyacente que no se ha podido explorar directamente, que debe de retener un mayor volumen de agua, ya que la cuenca de recepción es más difusa y extensa, aparte de recibir caudales más constantes. Dicho acuífero recibe agua de los Montes del Somo, desde el Castro Valnera hasta el Valle de Sotoscueva y Espinosa, a través de los afloramientos de areniscas y calizas del Aptiense y Albiense (114-96 m.a), Cretácico Inferior (G.E. Edelweiss, 1984).

El río Guareña cuenta con un recorrido subterráneo de unos 4 Km, desde el sumidero del Ojo del Guareña, junto al pueblo de Cueva, hasta el extremo meridional-oriental, donde se encuentran los manantiales de resurgencia. La descarga del acuífero se produce al este del eje sinclinal, de manera directa por la surgencia del Torcón y el subálveo del río Trema. En aguas altas también rebosa por la surgencia de la Torcona, por donde llega a salir un caudal de más de 10 m³/s (Eraso *et al.*, 2001).

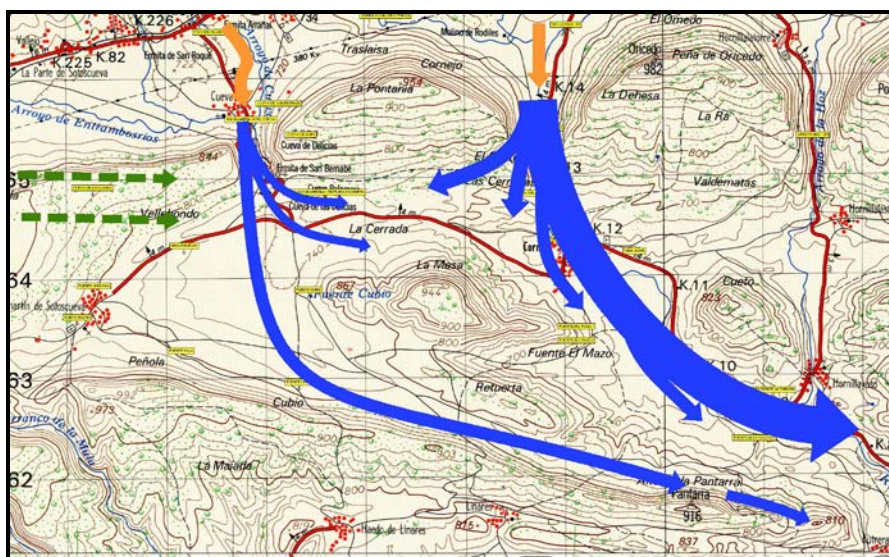
Los seis niveles topográficos que hay en el Complejo corresponden con tres niveles kársticos, de los cuales los dos inferiores se saturan en época de aguas altas. En el nivel insaturado se observan diversas circulaciones vadosas (infiltraciones de precolación y ríos subterráneos), mientras que alcanzando los niveles saturados se encuentran varios sifones (extremo distal de la Galería del Aburrimiento, G.E. Edelweiss, 2012).

En referencia a la composición físico-química, en el estudio de Erasó *et al.* de 2001, se puede ver que la conductividad eléctrica se mantiene en un nivel moderado, por debajo de los 400 µS/cm. Esta variable está directamente influenciada por la cantidad de iones presentes en la disolución y por su proporción. Las aguas que circulan por el Karst son de litofacies bicarbonatada-cálcica, no contaminada. Presentan niveles bajos o nulos de iones indicadores de contaminación orgánica e inorgánica, como nitritos, nitratos, cloruros e iones metálicos (magnesio, calcio, sodio, potasio). Esto indica que en el momento del estudio el complejo no estaba sometido a los efectos de actividades agrarias intensivas, ya fueran de agricultura o ganadería, que son un foco potencial de contaminación elevada y permanente. En el mismo estudio de Erasó *et al.*, 2001 se observa la

evolución del agua a medida que circula por el acuífero del Complejo: según penetra hacia el interior del karst solubiliza iones, principalmente calcio y bicarbonatos debido a la naturaleza de la roca, aumentando así su conductividad eléctrica. La carga iónica varía principalmente en función de la naturaleza del sustrato que recorre, pero también depende de la longitud del recorrido subterráneo y del tiempo que permanece en la matriz del acuífero.

Entre 1984 y 1985 el G.E. Edelweiss realizó tres coloraciones con fluoresceína del agua que se sume en el Complejo, dos en el sumidero del río Guareña y una en el del Trema, para su estudio hidrológico (Ruiz, 2002). Los estudios se realizaron coincidiendo con los regímenes de abundancia hídrica y de estiaje. Calcularon el caudal que aportaba en ese momento cada uno de los ríos. En las tres ocasiones el caudal del río Trema fue superior al del Guareña, entre un 56% y un 200% superior, aumentando la diferencia con una mayor abundancia hídrica. Del mismo modo se comprobó que el tránsito del agua era más rápido por el medio subterráneo cuanto más crecía su caudal: en el río Guareña se detectó una velocidad de tránsito de 28 h en febrero de 1984, mientras que en noviembre de 1984 tardó 96 h en detectarse la salida de la coloración.

Figura 1.2.4.a. Mapa de circulación de las aguas subterráneas en el Complejo Kárstico de Ojo Guareña. (Línea discontinua verde: torrente temporal; Línea naranja: arroyo; Línea azul: circulación de agua subterránea). (Modificado de Eraso *et al.* 2001).



Existe una zona en la que el agua presenta un máximo de disolución de la roca, circunstancia que se refleja en los niveles mayores de sólidos en suspensión, conductividad, bicarbonatos y calcio disueltos analizados. Sorprendentemente no es al final del recorrido subterráneo del agua, en la surgencia. Se trata de un área del acuífero situada entre los dos ponores que alimentan de forma permanente el acuífero, el del río Trema y el del Guareña. Para la explicación de este hecho se ha planteado la hipótesis de que deben de confluir las dos corrientes subterráneas en sentido opuesto,

disminuyendo la velocidad de circulación del agua y aumentando el tiempo de residencia, con la consecuente concentración de los productos de disolución de la roca.

En el agua procedente de la Galería de Sedimentos (Sector Central, entre los dos ponores) y la Galería de San Bartolomé (Sector Este) se encontraron los valores más elevados del total de iones disueltos, según la medida de la conductividad. En el resto del acuífero, el contenido en sedimentos, bicarbonatos y sales indica de una forma más clara el sentido de circulación general de las aguas (figura 1.2.4.a) de O-NO hacia E-SE.

Los niveles de nitratos y de sulfatos observados por el equipo de Eraso (2001) son bajos. Los nitratos indican un foco débil de contaminación orgánica, muy probablemente debido a purines procedentes de una actividad ganadera extensiva en el pueblo de Cueva y a los sulfatos que deben de tener su origen en la piritita dispersa en la cabecera de los ríos Guareña y Trema. También detectaron niveles bajos de cloruros, cuyo origen puede estar en la acumulación de residuos en el vertedero de la población de Villamartín de Sotoscueva, en el extremo occidental del eje sinclinal.

1.2.5. Estudios faunísticos en el Complejo Kárstico

A pesar del conocimiento que se tiene de esta cueva desde tiempos antiguos, se ha dedicado muy poco esfuerzo al estudio de la fauna que alberga. El profesor D. Eugenio Ortiz realizó los primeros estudios de biología en la cueva, entre 1968 y 1979, periodo durante el cual quiso establecer un laboratorio subterráneo y una estación biológica bajo los auspicios del CSIC. Recolectó principalmente fauna terrestre y cedió parte del material a diferentes especialistas. Producto de estos estudios fueron las publicaciones de: Rambla (1968), sobre opiliones; Pérez-Íñigo (1969) estudió los ácaros oribátidos de la Cueva y encontró 43 especies de ácaros guanobios entre 168 individuos; Español (1970) estudió el grupo de los coleópteros y encontró 6 especies, de las cuales una era nueva especie para la ciencia -*Trechus ortizi* Español, 1970-. También hubo otras dos citas de coleópteros hechas por Blas (1977) y Bellés (1975-1976); Álvarez (1971) estudió los oligoquetos procedentes de 2 muestras recolectadas por el profesor E. Ortiz en 1968 y 1970, encontrando 7 especies, 2 de ellas troglodias y una nueva especie para la ciencia, también troglodia, (*Allolobophora rosea troglodyta* Álvarez, 1971). Se ha descrito una nueva subespecie de miriápodo litóbido (Demange y Serra, 1978) partiendo de ejemplares recolectados en la propia Cueva. T. Antón, del G.E. Edelweiss, y X. Bellés realizaron algunas capturas de fauna terrestre que dieron lugar a posteriores publicaciones: Salgado, 1975 y 1976 (coleópteros catópidos); Vives, 1975-1976 y 1977 (crustáceos isópodos, coleópteros, opiliones y otros grupos faunísticos), y Bellés, 1975-1976 y 1977 (coleópteros ptínidos y catópidos).

Prieto y Gómez (1984) detectaron la presencia de un gasterópodo terrestre (*Zospeum suarezi* Gittenberger, 1980) en la cueva.

Aunque no es sujeto de este trabajo presentar la fauna terrestre que aparece en la cueva, se ofrece un epílogo con la fauna encontrada en el complejo kárstico y publicada hasta el comienzo del

trabajo intensivo en el año 2002, junto con nuevas citas de especies para esta cueva, que se han colectado simultáneamente al estudio de la fauna acuática. Los taxones se recogen en la tabla 1.2.5.a.

Tabla 1.2.5.a. Listado de fauna terrestre encontrada en el Complejo de Ojo Guareña hasta el año 2005.

Taxón = Nueva cita en Ojo Guareña (2004)
Taxón = Cita antigua

(**) Taxón subterráneo estigobio / troglobio
(*) Taxón estigófilo / troglófilo
(sin marca) Taxón estigoxeno / troglaxeno o desconocido

FAUNA TERRESTRE

Ph. Nematoda

Indet.

Ph. Mollusca

Cl. Gastropoda

Pulmonata O. Stylommatophora

Endodontidae

Punctum pygmaeum (Draparnaud, 1801) (*Helix*)

Orculidae

Indet.

Zonitidae

Indet.

Pulmonata O. Archaeopulmonata

Ellobiidae

** *Zospeum suarezi* Gittenberger, 1980

Ph. Annelida

Cl. Oligochaeta

O. Tubificida

Enchytraeidae

Indet.

O. Opisthopora

Lumbricidae

Allolobophora chlorotica (Savigny, 1826) (*Enterion*)

** *Allolobophora rosea troglodyta* (Álvarez, 1971) (*Aporrectodea rosea bismatoides*)

Satcheluis mammalis (Savigny, 1826) (*Enterion*)

Lumbricus papillosus Friend, 1893 (*Lumbricus friendi*)

Nicodrilus caliginosa (Savigny, 1826) (*Allolobophora caliginosa*)

Orodrilus gavarnicus (Cog. de Mart., 1904) (*Allolobophora gavarnica*)

** *Orodrilus paradoxoides* (Álvarez, 1971) (*Allolobophora paradoxoides*)

Nicodrilus (*Nicodrilus*) *caliginosus caliginosus* (Savigny, 1826) (*Allolobophora obscuricola*)

Phylum Arthropoda

Cl. Arachnida

Acariformes - O. Oribatida

Brachychthoniidae

Eobrachychthonius latior latior (Berlese, 1910) (*Brachychthonius*)

Lohmanniidae

Papillacarus aciculatus (Berlese, 1905) (*Lohmannia mucioides aciculatus*)

Euphthiracaridae

Acrotrititia ardua ardua (Koch, 1841) (*Rhysotria ardua*)

Phthiracaridae

Phthiracarus (*Archiphthiracarus*) *ligneus* Willmann, 1931 (*P. sellnicki* Feider y Suciu, 1957)

Phthiracarus (*Phthiracarus*) *nitens* (Nicolet, 1855) (*P. roubali* Berlesse, 1923)

Rhacaplacarus (*Rhacaplacarus*) *ortizi* (Pérez-Íñigo, 1970) (*Steganacarus*)

Steganacarus (*Steganacarus*) *magnus* (Nicolet, 1855) (*Hoplophora*)

Camisiidae

Heminothrus peltifer (Koch, 1839) (*Nothrus*)

Hermanniellidae

Hermanniella dolosa Grandjean, 1931

Damaeidae

Damaeus sp.

Damaeus (*Damaeus*) *maximus* (Mihelčič, 1957) (*Hypodamaeus* Bulanova-Zachvatkina, 1957)

Damaeus (*Paradamaeus*) *clavipes* (Hermann, 1804) (*Notaspis*) (*Damaeus nodipes* Koch)

Metabelba sp.

Metrioppiidae

Ceratoppia bipilis (Hermann, 1804) (*Notaspis*)

Liacaridae

Adoristes poppei (Oudemans, 1906) (*Liacarus*)

Xenillidae

Xenillus (*Xenillus*) *tegeocranus* (Hermann, 1804) (*Notaspis*)

Eremaeidae

Eremaeus hepaticus Koch, 1836

Autognetidae

Autogneta parva Forsslund, 1947

Autogneta rugosa Mihelčič, 1956

Oppiidae

Multioppia n.sp.1

Multioppia n.sp.2

Ramusella (*Insculptoppia*) *insculpta* (Paoli, 1908) (*Dameosoma*)

Medioppia obsoleta (Paoli, 1908) (*Dameosoma fallax obsoleta*) (*Oppia obsoleta*)

Medioppia subpectinata (Oudemans, 1900) (*Oppia globosa* y otros)

Dissorhina ornata ornata (Oudemans, 1900) (*Oppia ornata*)

Opiella nova (Oudemans, 1902) (*Eremaeus*)

Suctobelbidae

Suctobelbella (*Suctobelbella*) *subcornigera* (Forsslund, 1941) (*Suctobelba*)

Caraboidae

Carabodes (*Carabodes*) *labyrinthicus* (Michael, 1879) (*Tegeocranus*)

Carabodes (*Klapperiches*) *minuscule* Berlese, 1923

Tectocephidae

Tectocephus velatus sarekensis Trägårdh, 1910 (*Tectocephus velatus* var. *sarekensis*)

Scutoverticidae

Scutovertex sculptus Michael, 1879

Phenopelopidae

Eupelops occultus (Koch, 1836) (*Pelops*)

Peloptulus phaeonotus (Koch, 1844) (*Pelops*)

Achipteriidae

Achipteria (*Achipteria*) *coleoptrata coleoptrata* (Linnaeus, 1758) (*Acarus*)

Cerachipteria digita jugata (Mihelčič, 1956) (*Cerachipteria* [*Zygachipteria*] *jugata*)

Oribatellidae

Oribatella (*Oribatella*) *berlesei* (Michael, 1898) (*Oribata*)

Ceratozetidae

Ceratozetes (*Ceratozetes*) *campestris* Mihelčič, 1956

Ceratozetes simulator Pérez-Íñigo, 1970

Euzetes globulus (Nicolet, 1855) (*Oribata*)

Viracochiella Latimellobates incisella incisella (Kramer, 1897) (*Trichoribates*)

Mycobatidae

Indet.

Chamobatidae

Chamobates (*Chamobates*) *pusillus* (Berlesse, 1895) (*Notaspis cuspidatus borealis*)

Punctioribatidae

Inigozetes reticulans (Pérez-Íñigo, 1969) (*Minunthozetes reticulatus*)
Puncторibates punctum (C.L.Koch, 1839) (*Oribata*)
Puncторibates sellnicki sellnicki Willmann, 1928

Oribatulidae
Oribatula (*Oribatula*) *tibialis tibialis* (Nicolet, 1955) (*Notapsis*)
Oribatula (*Zygoribatula*) *cognata* (Oudemans, 1902) (*Eremaeus*)
Oribatula (*Zygoribatula*) *exarata* Berlese, 1916
Oribatula (*Zygoribatula*) *frisiae* (Oudemans, 1900) (*Eremaeus*)
Oribatula (*Zygoribatula*) *undulata* Berlese, 1916

Hemileiidae
Hemileius (*Hemileius*) *initialis* (Berlese, 1908) (*Protoribates* (*Scheloribates*))

Scheloribatidae
Scheloribates (*Scheloribates*) *laevigatus* (C.L.Koch, 1835) (*Zetes*)
Scheloribates (*Scheloribates*) *pallidulus* (C.L.Koch, 1844) (*Zetes latipes*)

Galumnatidae
Allogalumna alamellae (Jacot, 1935) (*Galumna*)

Acariformes - O. Actimedida
Indet.

Parasitiformes - O. Gamasida (Mesostigmata)
Indet.

Araneidos - O. Aranei
* Indet. Troglófila o troglobia

Opiliones - O. Palpatores

Ischyropsalididae
* *Ischyropsalis nodifera* Simon, 1879

Nemastomatidae
** *Centetostoma dentipatellae* (Dresco, 1967) (*Nemastoma*)

Haplocnemata - O. Pseudoscorpionida
* Indet. Troglobio o troglófilo

Superclase Myriapoda
Cl. Chilopoda
O. Lithobiomorphae
Lithobiidae
** *Lithobius derouetae* ssp. *sexusbispiniger* Demange y Serra, 1978

Cl. Diplopoda
O. Julida
Julidae
* Indet. Troglófilo ó troglobio

Cl. Pauropoda
* Indet. Troglobios o troglófilos

Superclase Crustacea
Cl. Malacostraca
O. Isopoda - Asellota
Trichoniscidae
* *Oniscus asellus* Linnaeus, 1758
Oniscidae
** *Cantabroniscus primitivus* Vandel, 1965

Superlase Insecta
Cl. Collembola
O. Entomobryomorpha
Entomobryidae
** *Heteromurus* gr. *hipanicus* Bonet, 1931

Cl. Diplurata
O. Diplura
Campodea sp.
Indet.

Cl. Euentomata
O. Thysanura
Thripidae
Thrips minutissimus Linneo, 1758

O. Coleoptera

Carabidae

- * *Trechus ortizi* Español, 1970
- Philochthus* (*Philochthus*) *haemorrhous* Stephens, 1828
- Bembidion* (*Philochthus*) *mannerheimii* (Sahlberg, 1827) (*Philochthus* [*Bembidium*])

Scydmaenidae

Indet.

Palaeostigus prolongatus (Gory, 1839) (*Mastigus*)

Ptinidae, Ptininae

Ptinus (*Ptinus*) *clavipes* Panzer, 1792

Staphylinidae

Ancyrophorus sp.

- * *Deleaster dichrous* (Gravenhorst 1802) (*Anthophagus*)

Euplectus (*Diplectellus*) *infirmus* Raffray, 1910

- * *Metopsia clypeata* (Müller, 1821) (*Silpha*)

Catopidae – Bathysciinae (Leiodidae, Cholevinae)

Choleva punctata Brisont, 1866.

- ** *Speocharis sharpi* Escalera (1898)

- * Indet. Troglófilo o troglobio

Chrysomelidae Alticinae

Indet.

Cryptophagidae

Indet.

Dermestidae

Anthrenus sp.

O. Diptera

Anthomyidae

Indet.

Anisopodidae

Indet.

Calliphoridae

Indet.

Cecidomyiidae

Indet.

Dolichopodidae

Indet.

Heleomyzidae

Indet.

Mycetophilidae

Indet.

Phoridae

Indet.

Psychodidae

Indet.

Sciaridae

Indet.

Sphaeroceridae

Indet.

Tipulidae

Trichocera cf. *hialis*

O. Hemiptera

Indet.

O. Lepidoptera

Indet.

O. Orthoptera

Indet.

O. Psocoptera

Indet.

O. Siphonaptera

Indet. Troglóxeno.

Ph. Tardigrada
 Cl. Eutardigrada
 O. Parachela
 Macrobiotidae
 Macrobiotus grupo *hufelandi*
 Hypsibiidae
 Hypsibius pallidus Thulin, 1911
 Itaquascon placophorum Maucci, 1972

Phylum Chordata
 Cl. Mammalia
 O. Chiroptera
 Rhinolophidae
 ** *Rhinolophus ferrumequineum* (Schreber, 1774)
 ** *Rhinolophus hipposideros* Bechstein, 1800.

Procedentes del complejo kárstico de Ojo Guareña, se han determinado al menos 115 especies y subespecies de invertebrados terrestres, además de 2 especies de murciélago del género *Rhinolophus* Lacépède, 1799. De los 115 *taxa* invertebrados, 8 se consideran troglobios: el gasterópodo *Zospeum suarezi*, los 2 oligoquetos lumbricúlidos *Allolobophora rosea troglodyta* y *Orodrilus paradoxoides* (Álvarez, 1971), el opilión nematostomátido *Centetostoma dentipatellae* (Dresco, 1967) citado por Prieto *et al.*, 1984, el litóbido *Lithobius derouetae sexusbispiniger* Demange y Serra, 1978, el isópodo anfibio *Cantabroniscus primitivus*, el colémbolo endémico de España *Heteromurus* gr. *hispanicus* Bonet, 1931 y el coleóptero catópido *Speocharis sharpi* Escalera (1898). También hay 10 especies consideradas troglófilas: un aranéido aun por identificar, el opilión *Ischyropsalis nodifera* Simon, 1879, cuya presencia en la región ya citaron Prieto y Zubiaga (1984), un pseudoescorpión, un diplópodo júlido y un paurópodo, los 3 últimos pendientes de su determinación, el isópodo *Oniscus asellus* Linnaeus, 1758, el coleóptero catópido *Trechus ortizi*, que es un endemismo de este complejo kárstico y 3 coleópteros stafilínidos (*Deleaster dichrous* (Gravenhorst 1802), *Metopsia clypeata* (Müller, 1821) y otro indeterminado, despigmentado y microoculado). El resto de taxones son epigeos o no se conoce exactamente su categoría ecológica.

De este listado hay 9 especies y subespecies que son endemismos de la Península Ibérica:

- * 3 ácaros: *Ceratozetes* (*C.*) *campestris* Mihelčič, 1956 y otros 2 que se han encontrado sólo en España, *Inigozetes reticulans* (Pérez-Íñigo, 1969) y *Cerachipteria digita jugata* (Mihelčič, 1956),
- * los 2 opiliones: *Ischyropsalis nodifera* y *Centetostoma dentipatellae*,
- * el miriápodo litóbido *Lithobius derouetae sexusbispiniger*, subespecie endémica de la cueva de Ojo Guareña,
- * el colémbolo *Heteromurus* gr. *hispanicus* y
- * el coleóptero catópido *Speocharis sharpi*.

Respecto a la fauna acuática, la primera referencia que se encuentra a nivel específico es la de *Stenasellus virei buchneri* (Stammer, 1936) realizada por Escolà en 1978 (Camacho, 1993), que no se sabe exactamente en qué zona de la cavidad fue capturado. Posteriormente se ha encontrado en varias localizaciones de la Cueva. Además se conocía la existencia de sincáridos batineláceos, isópodos stenasélidos, copépodos ciclopoides y harpacticoides, ostrácodos y cladóceros, en distintas partes de la cavidad y todos ellos sin identificar a nivel específico. También se ha hecho referencia en la década de 1990 a la presencia de nematodos, turbelarios, rotíferos, oligoquetos, hirudíneos, moluscos y ácaros en muestras del medio acuático de la cueva, pero sin más detalle taxonómico (Camacho, 1993).

A. G. Valdecasas y col. realizaron unos primeros estudios de deriva en el río Guareña, en una zona próxima a la entrada de la Cueva en 1978. J. Notenboom sondeó en 1984 la fauna acuática presente en el Sector Resurgencia del Sistema, más concretamente en la resurgencia de La Torcona (Notenboom & Meijers, 1985; Notenboom, 1986) y describió la especie *Pseudoniphargus burgensis* Notenboom, 1986 de un ejemplar procedente de dicha resurgencia. Además, citó la presencia de otros dos géneros de anfípodos: *Echinogammarus* Stebbing, 1899 y *Haploginglymus* Mateus y Mateus, 1958.

En estas dos últimas décadas la Dra. A. Camacho, ayudada por C. Puch y espeleólogos de los grupos espeleológicos STD (Madrid), Bathynellidae (Cantabria) y Edelweiss (Burgos), ha trabajado esporádicamente en la fauna acuática de Ojo Guareña. A partir de 2001, gracias a la financiación de la Junta de Castilla y León (Convenio 2002-2004) y de la Unión Europea (Proyecto PASCALIS, 2002-2004), el equipo de investigación de fauna acuática subterránea del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) de Madrid (encabezado por A.I. Camacho y A. G. Valdecasas y apoyados por S. González de Uzqueta, M.L. Peláez y J. Rodríguez), junto con J.M. Pérez-Zaballos de la Universidad Complutense de Madrid, ha podido estudiar de forma sistemática una pequeña fracción de la fauna acuática y terrestre que vive en 3 Km del nivel que se conoce popularmente como el Primer Piso de la Cueva, aunque corresponde con el tercer nivel topográfico (Camacho, 1993, 1994, 1998 y 2003a, 2003b, Camacho *et al.*, 2006a).

Una parte de los trabajos realizados y de los resultados obtenidos durante el desarrollo de estos proyectos de investigación constituyen el núcleo central de esta Tesis Doctoral.

Objetivos

2- Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es hacer una aproximación al conocimiento del ecosistema subterráneo del Monumento de Ojo Guareña, realizando una caracterización de la composición físico-química de sus aguas y de las poblaciones de estigofauna presentes en una pequeña área del Complejo Kárstico:

- 1- Caracterización físico-química de las aguas que circulan por el complejo kárstico, por medio del análisis de su carga iónica y su fluctuación espacio-temporal. Búsqueda de posibles focos de contaminación y registro de un nivel de concentración de electrolitos, con el fin de tener un nivel de referencia y poder evaluar los daños en caso de futura degradación del medio.
- 2- Caracterización taxonómica de las poblaciones de fauna estigobia, utilizando tanto herramientas taxonómicas morfológicas, como técnicas de biología molecular con el fin de aumentar el acervo científico en torno a la cueva. Registro de la presencia de las poblaciones detectadas con la finalidad de tener un referente tras un posible proceso de degradación ambiental, como pueden ser: contaminación atmosférica, agrícola, desvío de caudales que deriven en una desecación, efectos derivados de las visitas turísticas o por procesos naturales que destruyan o varíen las condiciones del hábitat.
- 3- Descripción de patrones de diversidad específica de la fauna presente, analizando la composición de las poblaciones y su variación en el espacio y en el tiempo. Evaluación de la riqueza biológica de este entorno natural y poner de manifiesto el interés de preservación y conservación del mismo y de otros que presenten características similares.
- 4- Evaluación medioambiental: definir factores que se encuentran en estrecha relación dinámica con la cueva y pueden influir sobre la preservación de su medio natural. Estudio de factores de riesgo potencial de desequilibrio o degradación del ecosistema cavernícola y subterráneo.
- 5- Definir el estado de conservación del medio y de las poblaciones de invertebrados con el fin de impulsar y facilitar las labores de preservación y conservación por parte de los usuarios, habitantes y administraciones competentes en la gestión de este espacio.
- 6- Delimitación de puntos de especial interés para la preservación debido a su diversidad específica o a la fragilidad ambiental.

Hipótesis

3. Hipótesis iniciales de trabajo

En este trabajo se estudia la parte más superficial del karst, lo que se denomina el Epikarst.

Lo que se alcanza con las exploraciones subterráneas es una representación de una mínima proporción de todo el epikarst. Por tanto, los invertebrados colectados con las muestras de agua también serán una representación pobre de la fauna albergada en el complejo kárstico en conjunto.

Este epikarst está habitado principalmente por crustáceos.

El número de especies, así como la abundancia absoluta y relativa de cada una de las mismas, está estrechamente influenciada por las condiciones ambientales: descarga del acuífero, precipitación, extensión y porosidad de la zona vadosa, la composición química del agua del acuífero y la periodicidad o evolución de todos ellos.

Además, la distribución espacial y temporal de las especies sigue un patrón de tipo agregativo debido a la heterogeneidad ambiental y a los cambios que se producen en él.

El agua intersticial asociada a los cursos de agua tendrá más influencia del medio externo que la que albergan cuevas y surgencias.

Aún existen numerosas especies habitantes del epikarst que son desconocidas para la ciencia, entre ellas muchas estigobias estrictas y facultativas.

Material y Métodos

4. Material y métodos

4.1. Área de trabajo. Descripción de las estaciones de muestreo

Dado el planteamiento de los objetivos perseguidos en este trabajo, se decidió estudiar una zona concreta del epikarst que ocupa la cavidad principal del Complejo kárstico de Ojo Guareña realizando en ella un muestreo intensivo durante dos ciclos anuales completos. Así se seleccionó un recorrido aproximado de 3 Km, entrando por la Dolina Palomera (ver figura 4.1.1.1.a), que de ahora en adelante se denominará “recorrido habitual”. Por la extensión de la cavidad, más de 110 Km hasta la fecha, se decidió muestrear de forma extensiva en otras zonas adyacentes de la misma, que calificaremos como “recorrido esporádico” o “puntos de visita ocasional”, con el fin de obtener una idea más precisa del conjunto (ver figura 4.1.2.a). El hecho de que el Monumento Natural cuente con muchas más cavidades aparte de la principal, numerosas surgencias y algunos pozos cuyas aguas están interrelacionadas, llevó a extender el estudio a todo el Sistema. Los ríos epigeos que rodean y los que recorren el Complejo kárstico (figura 4.1.2.1.a) también han sido objeto de estudio en lo que concierne a sus aguas intersticiales, por su interrelación con el resto de las aguas subterráneas del Monumento Natural de Ojo Guareña.

4.1.1. Estudios realizados en la cavidad principal

Se han muestreado una serie de puntos con agua en la cavidad principal, en aproximadamente 3 Km de recorrido, desde la entrada por la Dolina de Palomera, a través de la Galería Principal y hasta Museo de Cera y Sala Cacique. Estas aguas se han muestreado intensivamente, dependiendo de la temporalidad de las mismas, una vez por trimestre durante dos años. También se han realizado estudios extensivos, con muestreos puntuales, en otras zonas de la cavidad: desde la Galería Principal hasta Lagos, a las Galerías de Italianos, al Aburrimiento y a la zona del acceso al río. Para terminar con los muestreos extensivos se han tomado muestras en las galerías que desde la sima de Villallana cortocircuitan los sifones que hay entre el final de la Galería del Aburrimiento y la surgencia de la Torcona.

A continuación describiremos todos estos puntos de muestreo.

4.1.1.1. Descripción de los puntos de muestreo intensivo

En el interior de la cavidad principal, “Palomera”, se seleccionaron diez puntos de muestreo periódico (Tabla 4.1.1.1.a, figura 4.1.1.1.a). En ellos se han tomado muestras biológicas trimestralmente, desde febrero de 2002 hasta enero de 2004, de forma que se han cubierto dos ciclos anuales. Se ha llevado a cabo un estudio físico-químico mensual entre junio de 2002 y junio de 2003, en todas aquellas localizaciones en las que la permanencia del agua lo permitió. Además se cuenta con algunos datos adicionales en algunos de ellos, de visitas puntuales que se han realizado desde 1998 hasta el final de 2004.

Los puntos que se han sometido a un estudio más intenso por la permanencia del agua en los mismos son: charcos, *gours* y goteos formados por infiltración difusa. Se encuentran en el Sector Central, en la zona de muestreo periódico del cuadrante noroccidental del Complejo (figuras 4.1.1.1.a y 4.1.1.2.a) y de ahora en adelante se denominan “puntos de muestreo habitual” (tabla 4.1.1.1.a). Las localizaciones se han numerado por orden cronológico de muestreo, con el fin de facilitar el seguimiento de las muestras y su fauna. Sin embargo no guardan relación con la situación espacial en la cueva.

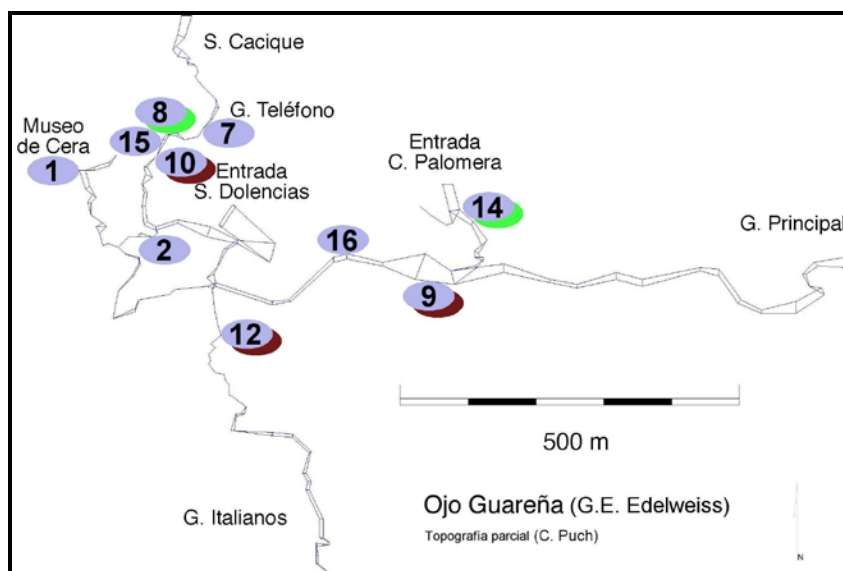


Figura 4.1.1.1.a. Topografía esquemática del *recorrido habitual* en el Sector Central de la cueva Palomera. Puntos de muestreo numerados entre el 1 y el 16, ambos inclusive. (En verde, puntos con recogida de goteos; En marrón, trampas con cebo; En morado, removido con manga).

Tabla 4.1.1.1.a. Ubicaciones de muestreo habitual en la cueva de Ojo Guareña. Localización y descripción del hábitat acuático.

Código	Nombre del punto	Localización	Hábitat
OG-01	Altar	Museo de Cera	<i>Gours</i> temporales
OG-02	Maccaroni	Museo de Cera	<i>Gour</i> temporal
OG-07*	Gours Hojas 1	Galería Principal	Charco temporal
OG-08*	Gours Hojas 2	Galería Principal	Charco/Goteo permanente
OG-09*	Sala Edelweiss	Galería Principal	<i>Gour</i> permanente
OG-10*	Gours Hojas 3	Galería Principal	Charco temporal
OG-12*	Galería Italianos	Galería Italianos	Charco permanente
OG-14*	Granja de Ortiz	Entrada Palomera	Charco/Goteo permanente
OG-15	Gours Hojas 4	Galería Principal	<i>Gours</i> permanentes
OG-16	Sala Enterramiento	Galería Principal	Charco temporal

* Lugares con visitas periódicas. Recogida trimestral de muestras durante los dos años.

A continuación se describen todos los puntos muestreados periódicamente, siguiendo el recorrido topográfico desde la entrada por la dolina Palomera, para hacer más sencilla la lectura del mapa y la orientación:

- **Punto 14 (OG-14):** se conoce con el nombre de *Granja de Ortiz* (fotografía 4.1.1.1.a), por los trabajos de investigación biológica que realizó el Profesor D. Eugenio Ortiz en los años 60 y 70. Es el primer punto con agua permanentemente que aparece en la cavidad, según se accede desde la Dolina Palomera hacia la Galería Principal. El agua queda retenida en un pequeño charco, de alrededor de 2 m² de superficie. Se alimenta con un goteo puntual, casi permanente, el cual interrumpe su actividad sólo al final de verano en años excepcionalmente secos. El fondo está cubierto por limo, arcilla y materia orgánica, tapizando arena, piedras y el propio sustrato rocoso.



Fotografía 4.1.1.1.a. Punto de muestreo OG-14 en Cueva Palomera.

- **Punto 9 (OG-09):** localizado a unos 150m de OG-14 y permanece con agua durante todo el ciclo anual. Se trata de un gran *gour* (fotografía 4.1.1.1.b), formado en la Sala Edelweiss de la Galería Principal. Se recarga por un goteo difuso prácticamente durante todo el año. El nivel del agua descende mucho (fotografía 4.1.1.1.c.) en el periodo de estiaje, pero no ha llegado a evaporarse por completo durante los dos ciclos anuales que cubre este estudio, a pesar de la fuerte sequía que hubo en el año 2002. En aguas altas rebosa e intercambia agua con el cauce del río subterráneo temporal que discurre al fondo de la galería pegado a la pared. En el fondo del charco hay un sustrato rocoso, con numerosas piedras, abundantes concreciones calcáreas y escasas acumulaciones de arena.



(b)



(c)

Fotografías 4.1.1.1.b y 4.1.1.1.c. Localización OG-09 en época de abundancia hídrica (b) y en estiaje (c). La fotografía (c) está tomada desde el punto de iluminación que se adivina en la parte izquierda de la imagen (b) y en la misma dirección a la que apunta el foco de luz.

- **Punto 16 (OG-16):** se encuentra en la Galería Principal, a continuación del Punto 9, junto a la Sala del Enterramiento, a algo más de 100 m, en sentido oeste. Es un charco muy somero y temporal, que se recarga con un goteo difuso (fotografía 4.1.1.1.d). El sustrato es rocoso con clastos abundantes.

- **Punto 2 (OG-02):** localizado en la Galería del Teléfono, bajo la Sala Maccaroni. Se sitúa entre los puntos OG-01 y OG-12. Esta ubicación se denominó Charco Maccaroni por el nombre con el que se conoce la galería y su fondo rocoso está cubierto de piedras y arena.

- **Punto 1 (OG-01):** está situado en la sala del Museo de Cera. Se trata del lugar de muestreo más occidental en Palomera. Es un *gour* extenso, aunque muy somero, que ocupa prácticamente todo el suelo de la galería (fotografía 4.1.1.1.e). Se recarga rápidamente con el deshielo y las lluvias intensas que caen de manera esporádica, secándose con idéntica celeridad. El sustrato es concreción calcárea típica de fondo de *gours*.



Fotografía 4.1.1.1.d. OG-16 en la Galería Principal.



Fotografía 4.1.1.1.e. OG-01, Sala del Museo de Cera.

- **Puntos 7, 8, 10 y 15 (OG-07, OG-08, OG-10 y OG-15):** estos puntos están reunidos en la Galería del Teléfono, en la zona que se llama Gours de las Hojas, en el extremo occidental de las galerías exploradas (figuras 4.1.1.1.a y 4.1.1.2.a), junto a OG-01 que marca el límite. En la localización OG-08 hay un charco que se recarga con agua de percolación abundante, la cual desciende por una gran estalactita. OG-15 consta de un conjunto de *gours* someros estratificados que se recargan con una fuente de escorrentía lateral (fotografía 4.1.1.1.f). OG-07 y OG-10 son dos charcos temporales, de fondo lodoso. OG-07 es más extenso, pero se seca rápidamente, mientras que OG-10 es de una superficie menor, aunque más profundo, y retiene agua la mayor parte del año. Todos ellos presentan un fondo rocoso tapizado de arena fina y arcilla.



Fotografía 4.1.1.1.f. Punto OG-15, galería del Teléfono en Gours de las Hojas.

- **Punto 12 (OG-12):** situado en la Galería de Italianos, entre la Sala de las Comunicaciones (en el Sector Central) y la Sima de Italianos, la cual conduce hacia la Segunda Axial (ramal sur de la cavidad principal). Se trata de un gran charco, con distintas profundidades, excavado en la roca, que retiene agua permanentemente y está sometido a una ventilación intensa, debido a su proximidad a la Sima Dolencias.

En resumen, en el recorrido habitual se han estudiado dos *gours* de aguas permanentes (OG-09 y OG-15) y otros dos que contienen agua de manera temporal (OG-01 y OG-02, tabla 4.1.1.1.a), tres charcos permanentes (OG-08, OG-12 y OG-14), 3 charcos temporales (OG-07, OG-10 y OG-16) y dos goteos permanentes que alimentan los charcos OG-08 y OG-14. Son diferentes hábitat epikársticos distribuidos por el área de muestreo que permitirán un estudio

comparado. En “Gours de las Hojas” están representados tres de los cuatro medios: OG-08 (goteo permanente), OG-15 (*gour* permanente), OG-07 y OG-10 (charcos temporales). El resto de los puntos se reparten por la Galería Principal, Museo de Cera y Galería de Italianos.

Los diez puntos de muestreo habitual se han estudiado en numerosas ocasiones (19 días diferentes), se han recogido muestras en las fechas que ha sido posible, para realizar análisis físico-químicos y faunísticos. En algunas fechas no fue posible la toma de muestras debido a la falta de agua por el estiaje. En la tabla 4.1.1.1.b se indican las fechas de muestreo en cada uno de los lugares del recorrido habitual en Palomera.

Tabla 4.1.1.1.b. Relación de fechas de estudio en los distintos puntos de muestreo habitual.

Fecha \ N°Punto	01	02	07	08	09	10	12	14	15	16
Nombre	Museo Cera	Maccarroni	Gours Hojas 1	Gours Hojas 2	Sala Edelweiss	Gours Hojas 3	Gal. Italianos	Granja Ortiz	Gours Hojas 4	Sala Enterramiento
24.01.1998	1	1		1				1		
16.02.2002	1	1		1	1	1		1		1
01.06.2002		1	1	1	1	1	1	1		
29.06.2002				1	1	1		1		
02.08.2002				1	1	1		1		
30.08.2002			1	1	1	1	1	1	1	
24.09.2002				1	1	1	1	1		
25.10.2002				1	1	1	1	1		
22.11.2002				1	1	1	1	1	1	1
20.12.2002				1	1	1	1	1		
25.01.2003			1	1	1	1	1	1		
08.03.2003	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
04.04.2003			1	1	1	1	1	1		
10.05.2003			1	1	1	1	1	1		
07.06.2003			1	1	1	1	1	1		
27.09.2003				1	1		1	1		
31.01.2004	1		1	1	1	1	1	1	1	1
24.04.2004			1	1	1	1	1	1	1	
25.09.2004		1		1	1		1	1		
Total (19 días)	4	5	9	19	18	16	15	19	5	4

Debido a las condiciones imprevisibles de inundación y estiaje en el medio subterráneo y a la estrategia de trabajo seguida, los únicos puntos que se han podido muestrear en todas las ocasiones, 19 veces, fueron OG-08 (Gours de las Hojas) y OG-14 (Granja de Ortiz); OG-09 (Sala Edelweiss) en 18 ocasiones, OG-10 (Gours de las Hojas) en 16 ocasiones y OG-12 (Gours de las Hojas) en 15 ocasiones. En cinco ocasiones se tomaron muestras en OG-02 (Charco Maccaroni) y OG-15 (Gours de las Hojas), en OG-01 (Sala del Museo de Cera) y OG-16 (Sala del Enterramiento, Galería Principal) se muestreó cuatro veces.

4.1.1.2. Descripción de los puntos de muestreo extensivo

Como ya se ha comentado, se han realizado muestreos extensivos en el interior de Palomera, en zonas adyacentes al recorrido habitual. En la figura 4.1.1.2.a se puede ver la localización de los puntos seleccionados y la numeración otorgada. En la tabla 4.1.1.2.a se resumen las muestras biológicas tomadas así como el número de análisis físico-químicos realizados. A continuación se describen brevemente todos ellos:

- **punto 17 (OG-17):** esta situado pasado OG-12, avanzando por el ramal sur de la cueva, (figura 4.1.1.2.a), justo en la parte superior de la Sima de Italianos.

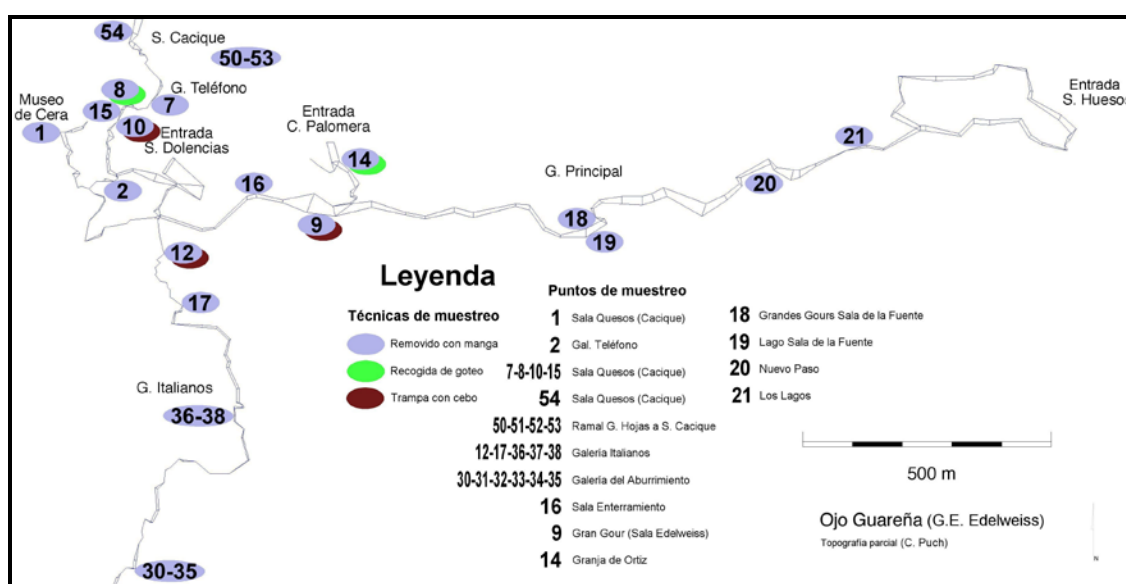


Figura 4.1.1.2.a. Topografía del recorrido habitual en el Sector Central de la cueva Palomera. Puntos de muestreo numerados entre el 1 y el 16, ambos inclusive. (En verde, captación y filtración de goteos; En marrón, trampas con cebo; En morado, removido con manga).

En la zona occidental del Sector Central (próximo a Gours de las Hojas, figura 4.1.1.2.a) se muestreo el 27 de septiembre de 2004 en 5 puntos. Las localizaciones estudiadas son:

- **punto 50 (OG-50):** charco colgado en la Sala del Gours de las Hojas, sobre unos bloques de piedra que ocupan el centro de la misma, entre los puntos OG-08 y OG-10. Fondo tapizado con arenas y limos.

- **punto 51 (OG-51):** charco que se encuentra en el punto topográfico S-10, en una galería que comunica Gours de las Hojas con la Sala del Cacique.

- **punto 52 (OG-52):** *gour* somero y amplio, con sedimento muy escaso, alimentado por un goteo difuso e intenso, escondido tras una columna, en un lateral en una galería que conduce hacia la sala del Cacique.

- **punto 53 (OG-53):** charco en la zona de paso de la galería que une Gours de las Hojas con la Sala del Cacique.

- **punto 54 (OG-54):** charco con abundantes lodos, excavado entre las columnas de la Sala de los Quesos, cuyo acceso se encuentra en la Sala del Cacique.

Siguiendo el recorrido desde OG-12 a OG-17 (Galería de Italianos), hacia la Segunda Axial, en sentido sur, se han tomado muestras en 9 lugares el 27 de septiembre de 2003 (OG-30 a OG-38). Pueden verse en la figura 4.1.1.2.a. Se trata de charcos, lagos y marmitas dispersos, entre el extremo inferior de la Sima de Italianos y la Segunda Axial del Sector Resurgencia. Estos puntos están numerados desde el punto de partida en la Galería de Italianos hacia el Sector Resurgencia, siguiendo el sentido de flujo de la circulación del agua subterránea (figuras 1.2.4.a, 4.1.2.3.a y 4.1.2.3.b):

- **punto 30 (OG-30):** se trata del primer conjunto de charcos que aparecen al descender la Sima de Italianos.

- **punto 31 (OG-31):** conjunto de *gours* en una localización cercana a los charcos del punto anterior, en la Galería de Italianos.

- **punto 32 (OG-32):** siguiendo desde OG-31, hacia la Segunda Axial, en la Galería de Italianos, se encuentra este gran charco que contiene mucha materia orgánica.

- **puntos 33 y 34 (OG-33 y OG-34):** están en una zona denominada Laberinto Vitoria, OG-33 consiste en dos marmitas próximas en la misma galería y OG-34 es un pequeño lago en el extremo opuesto de la galería.

- **punto 35 (OG-35):** marmita a la que se accede desde el Laberinto Vitoria, en una zona elevada sobre los puntos anteriores.

- **punto 36 (OG-36):** se trata del llamado lago de los Cangrejos, en la Galería de Italianos.

- **punto 37 (OG-37):** charco que queda en un lateral de la Galería de Italianos, en el último tramo que se ha explorado en dirección a la Segunda Axial.

- **punto 38 (OG-38)**: charco de contorno alargado que se encuentra en la Recta de Italianos. Esta es la ubicación más alejada donde se ha muestreado en el eje sureste, hacia el Sector Resurgencia, desde la entrada por la dolina de Palomera.

Partiendo de la entrada de Palomera, en sentido este y en dirección hacia la zona de Lagos (figura 4.1.1.2.a) y Sima de los Huesos, se han muestreado 4 lugares:

- **punto 18 (OG-18)**: conjunto de *gours* con fondo rocoso que se extienden a lo ancho de la Galería Principal y localizados bajo la Sala de la Fuente.

- **punto 19 (OG-19)**: pequeño lago de algo más de medio metro de profundidad, que se encuentra al fondo de la Sala de la Fuente, junto a la Sala de los Grabados (fotografía 4.1.1.2.a).



Fotografía 4.1.1.2.a. Punto de muestreo OG-19. Sala de la Fuente.



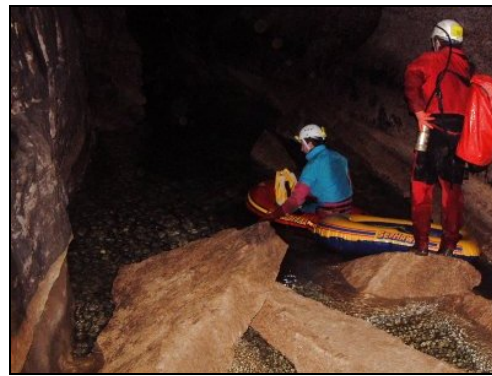
Fotografía 4.1.1.2.b. Punto de muestreo OG-20, Nuevo Paso, Galería Principal.

- **punto 20 (OG-20)**: es un charco amplio, de fondo lodoso, que ocupa casi todo el ancho de la Galería Principal (fotografía 4.1.1.2.b) a la altura del Nuevo Paso.

- **punto 21 (OG-21)**: se trata de los Lagos de la Galería Principal, se ha muestreado en 3 ocasiones: 27 de septiembre de 2003, 31 de enero de 2004 y 24 de abril de 2004. Se tomaron muestras en 6 de los 7 grandes lagos que ocupan todo el fondo de la galería, además de en un *gour* existente entre dos de los primeros lagos. El fondo de todos ellos es rocoso, con bloques de piedra, y su profundidad media varía entre 0,5 y 1,5 metros (fotografías 4.1.1.2.c y 4.1.1.2.d).



Fotografía 4.1.1.2.c. Punto de muestreo OG-21, 1er Lago en la Galería Principal.



Fotografía 4.1.1.2.d. Punto de muestreo OG-21, 2º lago en la Galería Principal.

En el Sector Resurgencia, en la Sima de Villallana, recientemente se han explorado y topografiado (G.E. Edelweiss) varias galerías nuevas descubiertas en el verano de 2003, gracias a que se abrió una nueva boca al hundirse un terreno de cultivo. A esta zona solo había acceso anteriormente mediante técnicas de espeleobuceo, entrando por el sifón terminal de la galería del aburrimiento o por la resurgencia de la Torcona. Esta zona de muestreo se encuentra próxima, a unos 100 m de distancia de la surgencia de la Torcona (coordenadas UTM en las tablas 4.1.2.1.a y 4.1.2.2.a, respectivamente) y da acceso a las galerías que aparecen destacadas en rosa en la topografía de la figura 4.1.1.2.b (II). La sequía que prevaleció desde el final de 2002 y durante buena parte de 2003 y el consecuente descenso del nivel freático permitieron el avance en las exploraciones en dicha zona. El Grupo Espeleológico Edelweiss permitió la recogida de muestras, para estudio faunístico y físico-químico, simultáneamente al desarrollo de su labor de exploración topográfica en septiembre del mismo año. Los emplazamientos estudiados son:

- **punto 39 (OG-39):** marmita con grava, de agua somera y muy limpia, que se halla en la mitad de la Galería.
- **punto 40 (OG-40):** lo forman una serie de marmitas consecutivas que ocupan el centro y algún lateral de la cueva; son de fondo rocoso y con grava.
- **punto 41 (OG-41):** marmita retirada de la galería, situada en un laminador lateral.
- **punto 42 (OG-42):** charco emplazado en la zona de paso de la galería que comunica la entrada de Villallana con el sifón terminal.
- **punto 43 (OG-43):** marmita que se encuentra colgada en un lateral, en el lado de la galería orientado hacia el norte.
- **punto 44 (OG-44):** conjunto de marmitas que se disponen longitudinalmente, en unas galerías laterales, que surgen en sentido norte desde la galería principal.
- **punto 45 (OG-45):** charco que está en medio de la galería principal, próximo a la entrada de Villallana.

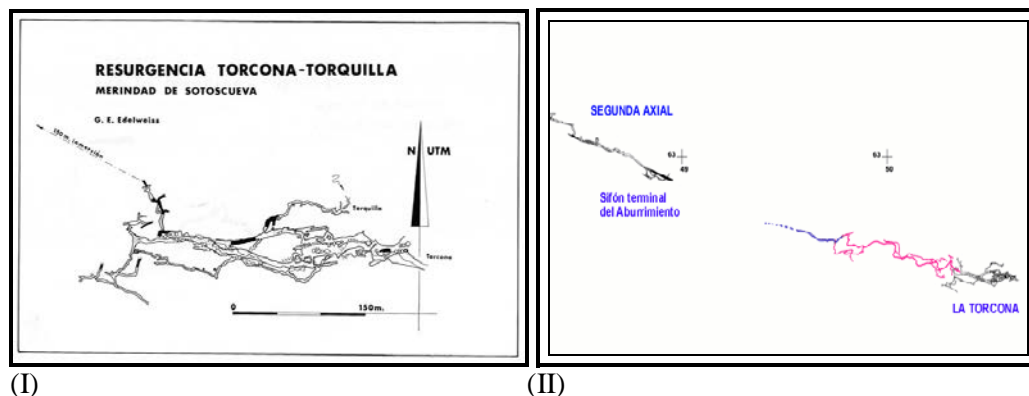


Figura 4.1.1.2.b. Topografía de las galerías del Sector Resurgencia. (I) Galerías conocidas hasta el 2003. (II) En rosa, galerías topografiadas durante las exploraciones de septiembre de 2003. [Extraídas de Grupo Espeleológico Edelweiss 1986 (I) y 2005 (II)].

- **punto 46 (OG-46):** charco limpio situado en una galería lateral, la cual parte desde el punto 45, muy próxima a la entrada, con gran acumulación de limos en el suelo.
- **punto 47 (OG-47):** conjunto de 3 charcos consecutivos, hallados en una galería lateral que surge en sentido sur. Es el punto más cercano a la entrada por Villallana.

Estos puntos que se encuentran en el Sector Resurgencia reciben agua procedente de todo el resto de la cueva.

En la tabla 4.1.1.2.a se puede observar la localización de los puntos de muestreo extensivo (situados sobre la topografía en la figura 4.1.1.2.a) y la descripción del tipo de hábitat estudiado. Estos 30 puntos se visitaron en el transcurso de 7 jornadas de trabajo, entre el 16 de febrero de 2002 y el 25 de septiembre de 2004. En las mismas fechas se tomaron muestras para el estudio físico-químico y para el faunístico.

En conjunto, se ha muestreado de modo extensivo en 16 charcos en diferentes sectores de la cueva, en 8 lagos (6 de la Galería Principal, que limitan con los Sectores Central y Este, 1 en el Dédalo Oeste y 1 en la Segunda Axial), en 6 marmitas (en la Segunda Axial y en el Sector Resurgencia), en 5 *gours* de la Galería Principal y la Segunda Axial y se ha recogido también una muestra en el exterior de la cueva, donde se sume en la cavidad el río Guareña.

Tabla 4.1.1.2.a. Estaciones de muestreo extensivo. Código utilizado para los puntos de muestreo, descripción del hábitat, nombre y localización de los puntos, fechas de muestreo y número de muestras recogidas en cada ocasión.

Código	Hábitat	Nombre punto	Localización	16.02.2002	02.06.2002	27.09.2003	28.09.2003	31.01.2004	24.04.2004	25.09.2004
Dolencias	Lago	Lago Dolencias	Sima Dolencias	1						
Sumidero	Río	Sumidero Guareña	Río epigeo		1					
OG-17	Charco	Charco superior	Sima Italianos			1				
OG-18	<i>Gours</i>	Grandes <i>Gours</i>	Galería Principal			1		1	1	1
OG-19	Charco	Lago Sala Fuente	Galería Principal			1		1	1	1
OG-20	<i>Gour</i>	Nuevo Paso	Galería Principal			1		1		
OG-21	Lagos y <i>gour</i>	Lagos	Galería Principal			1		2	6	
OG-30	Charco	IT-01. 1er charco	Galería Italianos			1		1		
OG-31	<i>Gour</i>	IT-02. <i>Gour</i>	Galería Italianos			1				
OG-32	Charco	2º Charco	Galería Italianos			1				
OG-33	Marmita	Marmita Italianos	Galería Italianos			1				
OG-34	Lago	Laguito Vitoria	Laberinto Vitoria			1				
OG-35	Charco	3er Charco	Galería Italianos			1				
OG-36	Charco	4º charco	Galería Italianos			1				
OG-37	Charco	5º charco	Galería Italianos			1				
OG-38	Charco	6º charco	Galería Italianos			1				
OG-39	Marmita	M. en pozo 20	La Torcona				1			
OG-40	Marmita	Varias marmitas	La Torcona				1			
OG-41	Marmita	M. escondida	La Torcona				1			
OG-42	Charco	Charco en paso	La Torcona				1			
OG-43	Marmita	M. lateral escond.	La Torcona				1			
OG-44	Marmita	M. laterales	La Torcona				1			
OG-45	Charco	Charco	La Torcona				1			
OG-46	Charco	Charco Lateral	La Torcona				1			
OG-47	Charco	3 charcos limpios	La Torcona				1			
OG-50	Charco	1er Charco	Galería Teléfono							1
OG-51	Charco	2º Charco	Galería Teléfono							1
OG-52	<i>Gour</i>	<i>Gour</i>	Galería Teléfono							1
OG-53	Charco	Varios charcos	Galería Teléfono							1
OG-54	Charco	Ch. Sala Quesos	Sala Cacique							1
TOTAL				1	1	14	9	6	8	8

4.1.2. Estudios llevados a cabo en el entorno de Palomera, dentro del Monumento Natural de Ojo Guareña

En el resto del acuífero kárstico, en el entorno de la cavidad principal de Ojo Guareña, se han tomado muestras en la zona saturada y en la zona no saturada del karst, en sustrato consolidado y en sustrato no consolidado o detrítico.

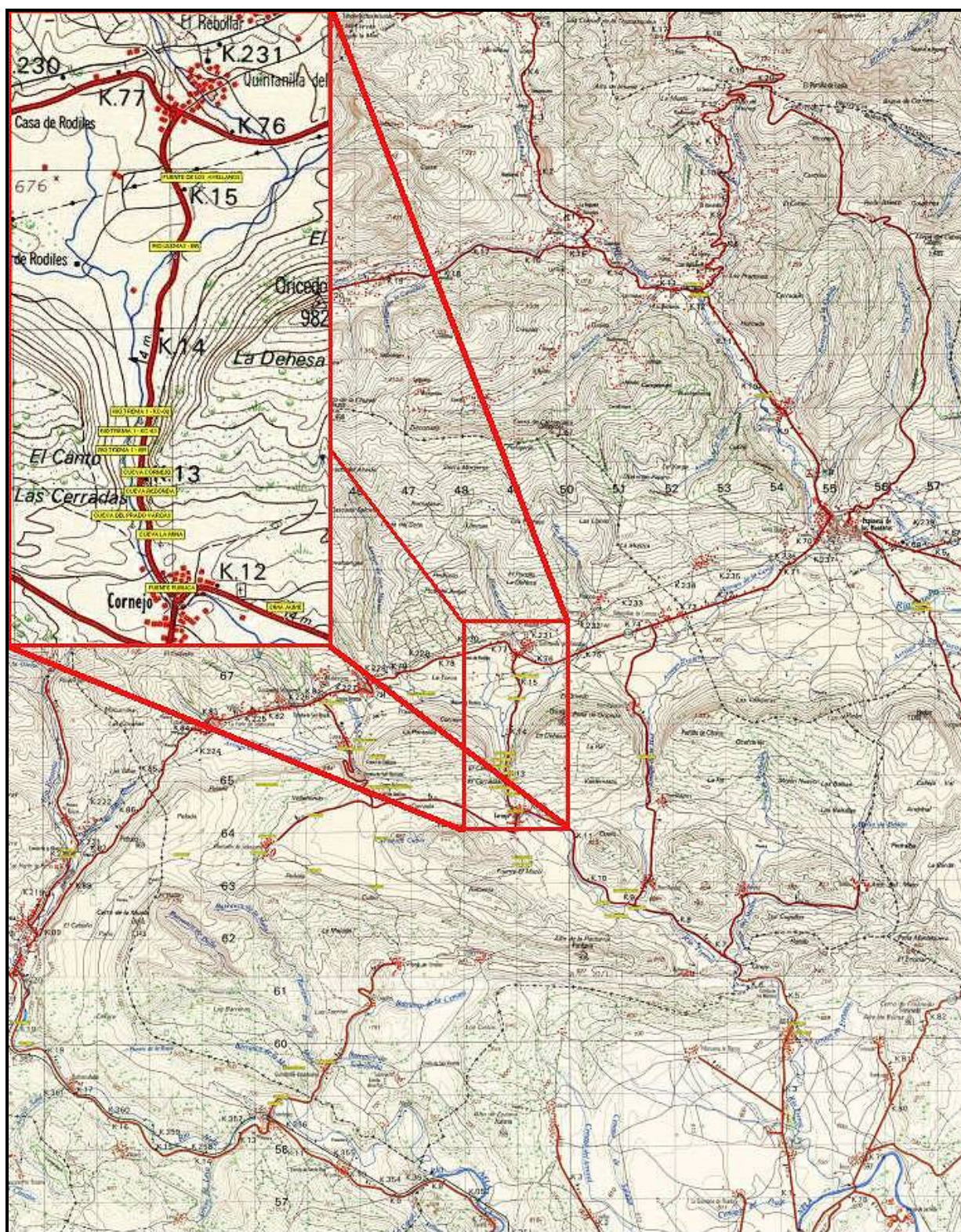


Figura 4.1.2.a. Mapa topográfico del valle de Sotoscueva. Puntos de muestreo situados con GPS utilizando el programa OziExplorer v.3.95.4i.

Se ha muestreado en 2 pozos artificiales (agua freática), en 12 cuevas (la mayoría en la zona no saturada, principalmente pertenecientes al epikarst), en 12 surgencias (reciben agua de las zonas

insaturadas y saturadas) y en 12 puntos de 7 ríos diferentes (en el medio hiporréico, bajo el lecho del río y en la orilla del río en la zona freática, en el medio intersticial). La descripción de todos ellos se detalla a continuación.

4.1.2.1. Descripción de las cuevas estudiadas

Las cuevas se han seleccionado en función de la presencia y la permanencia de agua en su interior y de la interacción con la cavidad principal. En aquellas cuevas en las que se encontraban varios puntos con agua, se han tomado diferentes muestras para obtener una representación más completa de la fauna que las habita.

En la tabla 4.1.2.1.a se muestra una relación de todas las cuevas estudiadas que, con excepción de la cavidad principal, Palomera, se han visitado en una única ocasión.

Tabla 4.1.2.1.a. Cavidad principal y cavidades muestreadas en el *entorno*. También se muestran la fecha y la localización GPS (coordenadas UTM expresadas en metros) de las estaciones de muestreo.

Lugar de muestreo	Población	fecha	X	Y	Z
Palomera	Cueva	2002-2004	446595	4764790	714
Sima de Villallana	Cueva	27.09.2004	450542	4762564	645
Sima Rizuelos	Villamartín de Sotoscueva	26.01.2003	445178	4764268	763
Kaite 2	Cueva	25.01.2003	446349	4765570	862
Sima Jaime	Cornejo	26.01.2003	449708	4764276	636
Cueva La Mina	Cornejo	26.04.2003	448875	4764802	673
Cueva Prado Vargas	Cornejo	26.01.2003	448748	4764761	662
Cueva García	Villamartín de Sotoscueva	29.11.2002	442630	4763545	934
Cueva de San Bernabé	Cueva	26.04.2003	446140	4765563	757
Sumidero del Río S. Miguel	Quisicedo	04.04.2003	447217	4766549	679
Cueva de las Llanas	Villamartín de Sotoscueva	26.01.2003	444260	4764854	866
Cueva Cornejo	Cornejo	24.11.2002	448840	4764830	650
Cueva Racino	Villamartín de Sotoscueva	29.11.2002	444103	4763559	832
Cueva Redonda	Cornejo	26.04.2003	448858	4764811	668

En las cuevas del *entorno*, al igual que en Palomera, se han muestreado diversos medios para detectar las posibles diferencias entre ellos, realizando comparaciones entre las variables físico-químicas y la fauna de los mismos. En la tabla 4.1.2.1.b aparecen los medios muestreados en cada cueva y se puede ver que en total se han muestreado 11 charcos, 7 *gours*, 4 marmitas y las orillas de 3 lagos (método de Karaman-Chappuis). De esta forma se han tomado muestras de diferentes ambientes acuáticos epikársticos en los cuales el agua tiene diversas procedencias (percolación, escorrentía, inundación por la entrada de ríos epigeos, etc.).

Por la situación geográfica de las estaciones de muestreo y sus conexiones subterráneas y epigeas según el relieve que presenta el terreno, la posición relativa de los puntos y los sentidos de circulación del agua, se pueden hacer las siguientes consideraciones.

El Sumidero del Río San Miguel es la cueva más septentrional de la que se han tomado muestras. Se encuentra inmediatamente al norte de una de las “conchas” occidentales del Complejo kárstico, uno de los 5 cejos de roca caliza que destacan en la superficie del terreno, entre los que se sumen los dos cauces principales que alimentan el Complejo: los ríos Guareña y Trema. El arroyo San Miguel es un afluente del río Trema, y parte de su caudal penetra en el interior de la cueva del mismo nombre en épocas de crecida (la topografía de la cavidad puede verse en el apéndice 7.8). Según el esquema de circulación subterránea del agua propuesto por Eraso *et al.* (2001), este sumidero se encuentra en un punto de confluencia de las aguas subterráneas procedentes de los ríos Guareña y Trema. Como consecuencia es difícil predecir en qué sentido fluye, aunque probablemente seguirá en sentido sur, tras sumarse a los flujos procedentes de los dos ríos, y percolando directamente hasta las galerías de los Sectores Central y Occidental de Palomera. También pudiera ser que el agua se reparta por diferentes vías, resurgiendo finalmente por el Torcón y la Torcona, en el extremo suroriental. La boca del sumidero se encuentra, aproximadamente, a 1,5 Km al norte de las galerías que conforman el Dédalo Este de la Cavidad.

Tabla 4.1.2.1.b. Hábitat muestreados en las diferentes cuevas del *entorno*.

Fecha	Nombre del punto	Hábitat
26/01/2003	Sima Rizuelos	Charco
26/01/2003	Sima Rizuelos	Karaman
25/01/2003	Kaite 2 - Final Sala	<i>Gour</i>
25/01/2003	Kaite 2 - Centro Sala	<i>Gour</i>
25/01/2003	Kaite 2 - Entrada	Charco
26/01/2003	Sima Jaime	Charco
26/04/2003	Cueva La Mina	Pequeños <i>gours</i>
26/04/2003	Cueva La Mina	Segundo <i>gour</i>
26/01/2003	Prado Vargas - Cata Dcha.	Charco
26/01/2003	Prado Vargas - Charco Izquierda	Charco
29/11/2002	Cueva Garcia	Removido charco
29/11/2002	Cueva Garcia	<i>Gour</i> en galería
29/11/2002	Cueva Garcia	Karaman (mini)
26/04/2003	Cueva de San Bernabé	Marmita
04/04/2003	Sumidero Río San Miguel	Varias marmitas
26/01/2003	Cueva de las Llanas - Primer lago	Charcos
26/01/2003	Cueva de las Llanas - Acceso Lago	Charcos
24/11/2002	Cueva Cornejo	Marmita
24/11/2002	Cueva Cornejo	Charco-Marmita 2
29/11/2002	Cueva Racino	Charco grande
29/11/2002	Cueva Racino	<i>Gour</i> alto
29/11/2002	Cueva Racino	Charco- <i>gour</i>
29/11/2002	Cueva Racino	Mini Karaman
26/04/2003	Cueva Redonda	Charco arenoso

Sobre el Dédalo Oeste y remontando hacia los límites occidentales de la cuenca de recepción, se encuentran: Cueva García (tabla 4.1.2.1.a y figura 4.1.2.1.a), la más occidental de todas ellas y la que presenta su boca de entrada a mayor altitud (ver topografía en apéndice 7.6), la Cueva de las Llanas (topografía en apéndice 7.9), Cueva Racino (topografía en apéndice 7.11) y Sima Rizuelos (ver topografía en apéndice 7.1 y fotografía 4.1.2.1.a). En las proximidades de estas cuatro cuevas se encuentran Fuente Jordana y Fuente Villa en primera instancia (a menos de 1 Km) y a continuación Fuente Cubío y Fuente Salce (a menos de 2 Km), las cuales se disponen ya sobre galerías de la Segunda Axial de Palomera. El sentido de circulación general del agua subterránea en esta franja occidental propuesto por Eraso y colaboradores (2001) es de NE hacia el E-SE, figura 1.2.4.a, de modo que en Fuente Villa y Fuente Salce puede emerger agua proveniente de Cueva García, Fuente Jordana, Cueva Racino y Sima Rizuelos.

En línea con la dirección de circulación del río Guareña, antes de sumirse y sobre el cejo que queda en su margen izquierda, se localizan las cuevas de Kaite (topo en apéndice 7.2) y San Bernabé (topografía en apéndice 7.7), que son las más próximas a la cueva Palomera. San Bernabé comunica con la red principal de galerías, y ocupa el nivel superior del Complejo. Estas cuevas, al situarse por encima del área en la que se sume el río Guareña, son las que más pueden influir sobre el agua que se encuentra en el Sector Central, en las proximidades de Palomera.

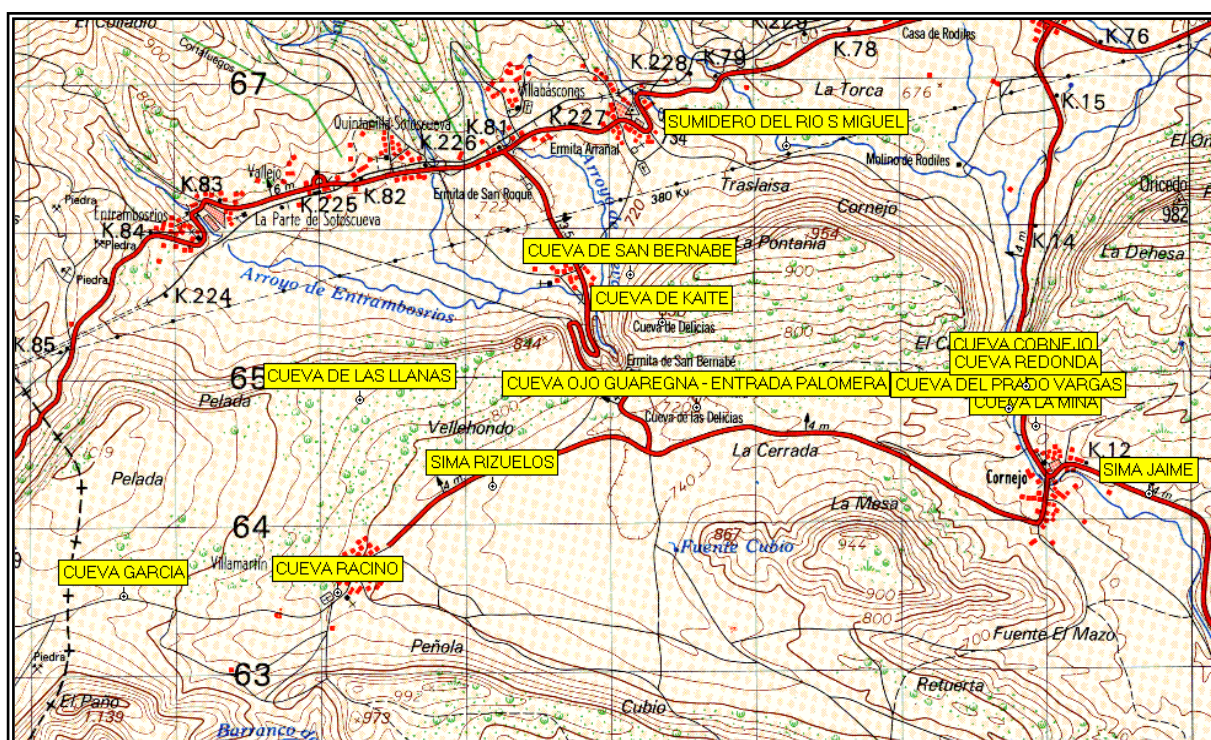


Figura 4.1.2.1.a. Mapa topográfico del área de la Merindad de Sotoscueva donde están situadas las cuevas estudiadas.

Unos 2 Km al este, en la dirección de circulación del río Trema, se encuentran Cueva Cornejo (topografía en apéndice 7.10), Cueva Redonda (topografía en apéndice 7.12), Prado Vargas (topografía en apéndice 7.5), Cueva la Mina (topografía en apéndice 7.4) y Sima Jaime (topografía en apéndice 7.3 y fotografía 4.1.2.1.b). El río Trema transcurre al pie de las tres primeras cuevas mencionadas y pueden estar hidrológicamente relacionadas con él. La Sima Jaime se encuentra a una altitud menor que las anteriores y puede estar relacionada con las 3 cuevas anteriores y con el río Trema. Las cuatro cuevas se encuentran a menor altitud que la entrada de Palomera (714 m.s.n.m.): la Sima Jaime a 636 m.s.n.m., Cueva Cornejo a 650 m.s.n.m., Prado Vargas a 662 m.s.n.m. y Cueva Redonda a 668 m.s.n.m. Sin embargo, por el sentido de circulación de las aguas subterráneas propuesta por Eraso *et al.* (2001) y por el sentido de circulación del río Trema, sólo la Sima Jaime debe tener posibilidad de recibir un aporte del agua procedente de la Cavidad Principal.



Fotografía 4.1.2.1.a. Entrada de Sima Rizuelos protegida por una verja.



Fotografía 4.1.2.1.b. Entrada vertical de la Sima Jaime.

En el extremo oriental del Monumento Natural se encuentra La Torcona, una cueva que es un punto de resurgencia del agua de la cavidad principal en épocas de crecida. Las galerías a las que se accede desde la Sima de Villallana forman parte del conjunto principal de Palomera. Las muestras tomadas en la boca de la Torcona, por donde mana profusamente el agua en épocas de deshielo o lluvias abundantes, se han incluido en el estudio de las surgencias.

Las cuevas cuyas bocas de entrada se encuentran a mayor altitud son: Cueva García (934 m.s.n.m.), Las Llanas (866 m.s.n.m.), Kaite (862 m.s.n.m.) y Cueva Racino (836 m.s.n.m.), que se encuentran por encima de la entrada principal a Palomera (714 m.s.n.m.), y por tanto son algunos de los puntos que aportan agua al sistema principal. Kaite está en línea con el cauce del río Guareña, sobre uno de los cejos, mientras que las otras tres están en el extremo occidental.

Las cavidades que presentan mayor desarrollo, después de Palomera, son: Sima Rizuelos, con 3.000 m de desarrollo total y un desnivel de 116 m, Sima Jaime, de 650 m de longitud y 28 m de desarrollo vertical y Cueva García, cerca de 200 m topografiados y 102 m de desarrollo vertical.

4.1.2.2. Descripción de las surgencias estudiadas

Para realizar un estudio integral de la zona se han seleccionado varios puntos de muestreo que se encuentran en cotas superiores de altitud, más elevadas que los sumideros de los ríos Guareña y Trema, donde es evidente un comienzo de circulación subterránea, y otros en cotas inferiores a la resurgencia de La Torcona, para conocer la fauna que existe en el conjunto de todo el sistema y para poder detectar diferencias en las poblaciones antes y después de que las aguas atraviesen el Complejo kárstico (figura 1.2.4.a).

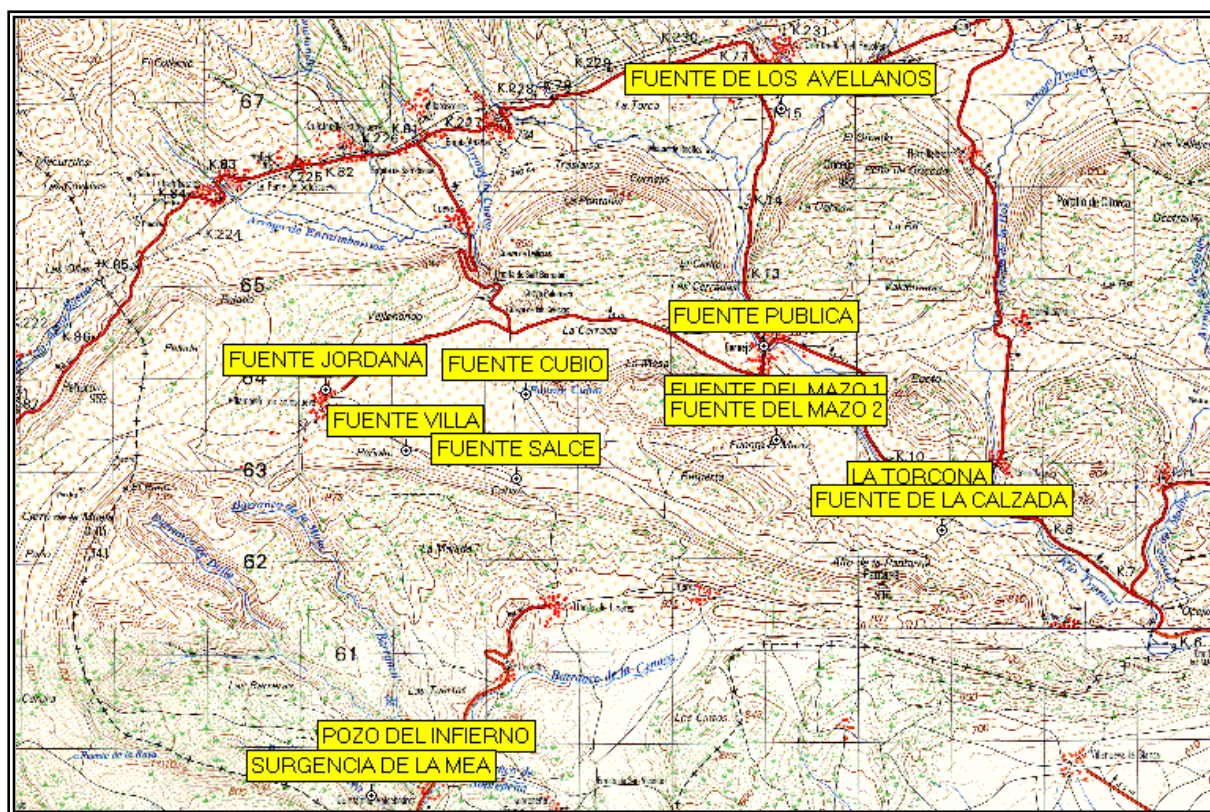


Figura 4.1.2.2.a. Mapa topográfico del área de la Merindad de Sotoscueva en la que aparecen localizadas las surgencias estudiadas.

Se han muestreado las 12 surgencias principales del Monumento, localizadas sobre el terreno gracias al mapa topográfico de la zona (figura 4.1.2.2.a). En la tabla 4.1.2.2.a se detallan cada una de ellas con sus coordenadas UTM, la localidad donde se encuentran y la fecha de muestreo.

La surgencia principal del Complejo es el Sistema de La Torcona-Torquilla (La Torcona, figura 4.1.1.2.b), donde sale al exterior el grueso del agua que se sume en las galerías de Palomera. El Sector Resurgencia, las galerías transitables por el acceso descubierto en septiembre

de 2004 en la Sima Villallana y las localizaciones OG-39 a OG-47, son los más próximos a esta resurgencia principal de Palomera. Algo más alejadas de este rebosadero principal y a mitad de camino hacia el sumidero del río Trema, en Cornejo, se encuentran las fuentes del Mazo 1 y 2, aguas que circulan más cercanas al pueblo de Cornejo (Prado Vargas, Cueva la Mina, Fuente de Cornejo y Sima Jaime).

Tabla 4.1.2.2.a. Surgencias muestreadas en el *entorno*. Fecha de muestreo y localización geográfica del punto (coordenadas UTM tomadas con GPS).

Lugar de muestreo	Población	Fecha	X	Y	Z
La Torcona (Resurgencia)	Hornillayuso	02.06.2002	450661	4762560	633
La Torcona (Resurgencia)	Hornillayuso	28.11.2002	450661	4762560	633
Pozo del Infierno	Quintanilla de Valdebodres	23.11.2002	445348	4759578	661
Fuente Cornejo	Cornejo	30.11.2002	448992	4764304	643
Surgencia de la Mea	Quintanilla de Valdebodres	23.11.2002	444746	4759464	735
Fuente Villa	Villamartín de Sotoscueva	29.11.2002	445145	4763215	811
Fuente Salce	Villamartín de Sotoscueva	29.11.2002	446329	4762894	785
Fuente Cubío -Ctra. a Cueva-	Villamartín de Sotoscueva	23.11.2002	446427	4763821	755
Fuente de la Calzada	Hornillayuso	24.11.2002	450900	4762300	618
Fuente Jordana	Villamartín de Sotoscueva	29.11.2002	444273	4763872	805
Fuente del Mazo (1ª)	Cornejo	24.11.2002	449120	4763430	700
Fuente de los Avellanos	Quintanilla del Rebollar	24.11.2002	449198	4766878	673
Fuente del Mazo (2ª)	Cornejo	24.11.2002	449110	4763428	683

Al sur del Complejo se encuentra el manantial del Pozo del Infierno y la surgencia de la Mea, los cuales no parecen estar relacionados hidrológicamente con el Complejo de Ojo Guareña debido a que los separa una línea de cerros en forma de hoz de este a oeste, dando lugar a las dos vertientes: el dominio norte del valle de Sotoscueva y S-SE, que declina hacia Quintanilla de Valdebodres y el dominio sur, por el cual discurre el río Nela y donde se encuentra la población de Puente de Yedra. El modelo de circulación del agua subterránea sugerido por Eraso *et al.* (2001) indica que debido al buzamiento de los estratos, el agua fluye bajo la superficie del valle de Sotoscueva en sentido oeste-este, con la misma orientación con la que se han desarrollado las galerías de Ojo Guareña: Sector Central, Sector Este, Segunda Axial y Sector Resurgencia.

El resto de surgencias estudiadas se encuentran dentro del valle de Sotoscueva y hay una interconexión más directa de sus aguas. Sobre el Sector Occidental y un extremo de la Segunda Axial se encuentran las fuentes: Jordana, Villa, Cubío y Salce. Estas deben de cargarse con el agua proveniente del extremo occidental del Valle de Villamartín de Sotoscueva y de los cerros que rodean la población. Las aguas que manan en ellas deben provenir, al menos en parte, de las cuevas que las rodean (Cueva García, Racino y Las Llanas).

Otra fuente estudiada, la de los Avellanos, se encuentra junto al río Ulemas, antes de su desembocadura en el río Trema en su recorrido epigeo. El agua procedente de toda esta zona se sume en el cauce del río Trema antes de llegar al pueblo de Cornejo y acaba formando parte de

las aguas subterráneas de la red de galerías que resurgen por La Torcona. A lo largo de la travesía subterránea del río Trema aparecen surgencias temporales en superficie en los momentos de crecida, cuando el acuífero se recarga y sobrepasa su capacidad máxima por fuertes tormentas, deshielos o en épocas de grandes lluvias. Entre estas surgencias, las de mayor permanencia son la fuente del pueblo de Cornejo y las fuentes del Mazo 1 y 2 que se sitúan a las faldas del cerro de La Mesa, las cuales dejan de manar sólo en épocas de extrema sequía.

La fuente de los Avellanos se encuentra al nordeste, muy próxima a Quintanilla del Rebollar y al río Ulemas. Las aguas de este manantial desembocan en el río Trema. El curso de agua subterránea se dirige principalmente hacia la Torcona, y una parte del mismo parece encaminarse en sentido contrario (Eraso *et al.* 2001), hacia el Sector Central de la Cueva, al sur y suroeste del lugar donde se sume (figura 1.2.4.a).

4.1.2.3. Descripción de las ubicaciones seleccionadas en el medio hiporréico de los ríos epigeos del Monumento Natural de Ojo Guareña

Se han tomado muestras de los siguientes ríos que recorren el Monumento Natural de Ojo Guareña en busca de la fauna estigobia: Trema, Guareña, Arroyo de la Hoz, Trueba, Nela y Engaña (tabla 4.1.2.3.a y figuras 4.1.2.3.a y 4.1.2.3.b.). Los dos primeros son los ríos que se sumen en el Complejo y rellenan el acuífero con sus caudales de forma permanente, mientras que el Arroyo de la Hoz lo hace esporádicamente, en épocas de abundancia hídrica; los otros tres ríos, Trueba, Engaña y Nela, se sitúan en los lindes del Complejo. El río Nela bordea el Complejo en su extremo oriental y septentrional, el río Engaña, tributario del Nela, limita al noroeste con el Complejo y el río Trueba se encuentra al nordeste.

Tabla 4.1.2.3.a. Estaciones de muestreo en el medio hiporréico de los ríos que limitan con la cavidad principal. Fecha y localización del muestreo mediante coordenadas UTM (expresadas en metros).tomadas con GPS.

Lugar de muestreo	Población	Fecha	X	Y	Z
Río Guareña	Cueva	28.11.2002	445841	4765533	563
Río Ulemas	Quintanilla del Rebollar	26.11.2002	449031	4766449	666
Río Trema-3	Torme	28.11.2002	454396	4760064	617
Río Trema-2	Hornillayuso	28.11.2002	451301	4762450	605
Río Trema-1	Cornejo	28.11.2002	448681	4764430	638
Río Trueba-1	Machorras	25.11.2002	452449	4774304	812
Río Trueba-2	Bárcenas	25.11.2002	453762	4772171	772
Río Trueba-3	Espinosa	25.11.2002	456750	4768183	723
Río Engaña	S. Martín de Porres	27.11.2002	440481	4763534	703
Río Nela-1	Santelices	27.11.2002	439661	4759979	645
Río Nela-2	Puente de y	27.11.2002	445454	4758908	609
Arroyo de la Hoz	Hornillatorre	28.11.2002	446820	4767100	700

Para completar el estudio del medio intersticial, se ha muestreado en varios puntos que sirven de referencia en el entorno del Complejo. Al oeste, suroeste y sur se encuentran respectivamente río Engaña, punto 1 y punto 2 del río Nela. Los dos primeros están más aislados del sistema principal, pero el tercero, cercano a las surgencias Pozo del Infierno y de la Mea, puede tener cierta relación hidrológica con estas dos fuentes.

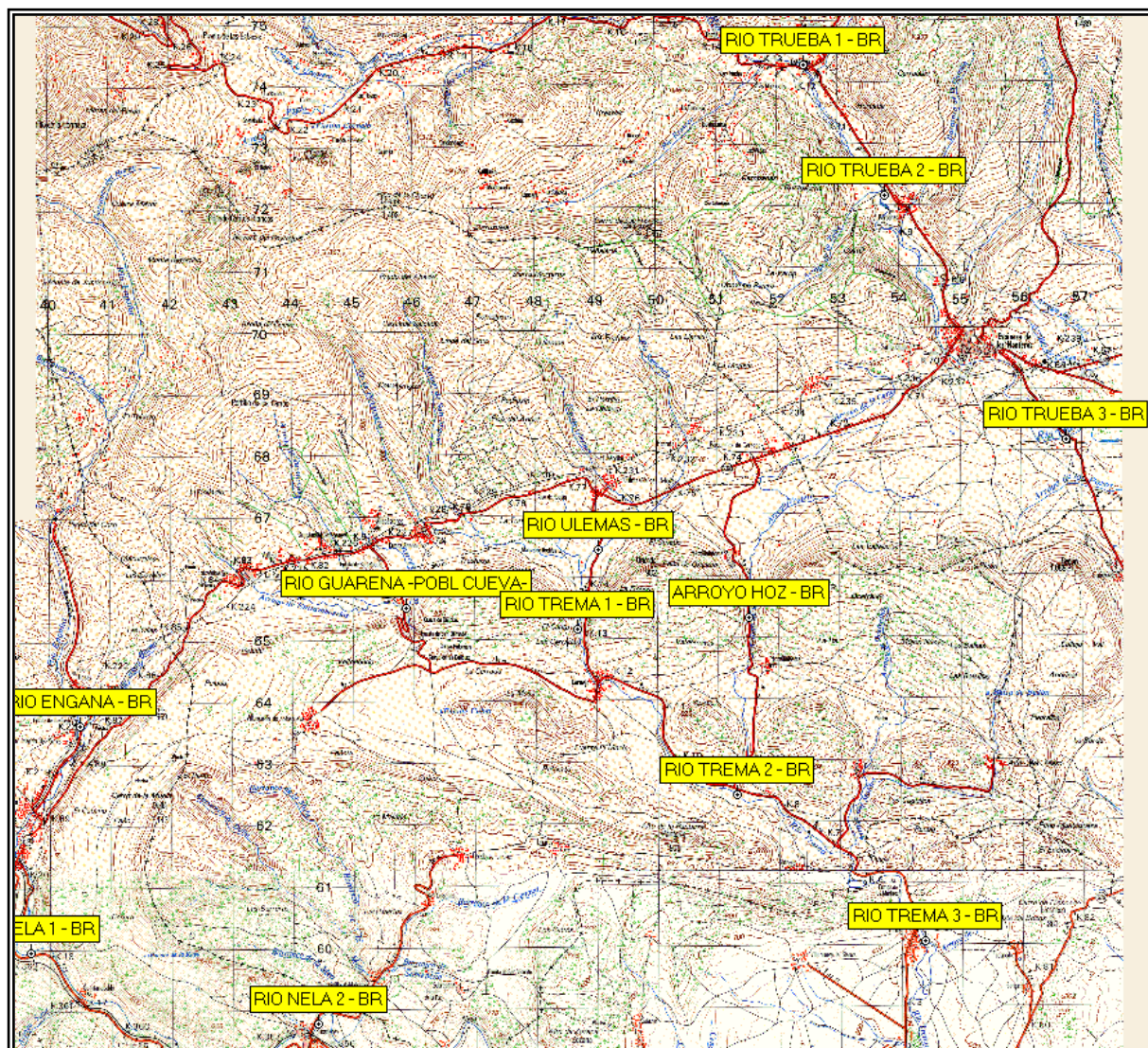


Figura 4.1.2.3.a. Mapa topográfico del área de la Merindad de Sotoscueva que comprende los puntos de muestreo del medio hiporréico.

El arroyo de la Hoz queda al margen de las galerías principales del Sistema, pero limita con ellas por el este, y vierte sus aguas en la zona de resurgencia. Por tanto, las aguas subterráneas del arroyo, del pozo situado frente al Torcón, de la surgencia de La Torcona, de la Fuente de la Calzada y del medio hiporréico del río Trema (punto 2) pueden estar relacionadas, sobre todo en determinados momentos del año.

El punto muestreado del río Guareña (fotografía 4.1.2.3.a) se encuentra inmediatamente antes de que el agua llegue al sumidero y al entramado de galerías de Palomera; el pozo en el chalet de la población de Villabascones se encuentra aproximadamente a 1 Km al noroeste del sumidero, por lo que la relación hidrológica resulta evidente.

El río Ulemas, a unos 2 Km al norte de la población de Cornejo, alimenta las aguas del río Trema que puede recibir también agua procedente de la fuente de los Avellanos, que se encuentra a menos de 500 m de distancia remontando el cauce. El punto 1 del río Trema (fotografía 4.1.2.3.b) esta situado en el lugar donde este río se sume; sólo circula en superficie, a partir de este punto, en las épocas de grandes crecidas momento en el cual rellena su cauce superficial a su paso por la localidad de Cornejo. Este primer punto del río Trema se encuentra al pié de los escarpes donde se ubican Cueva Cornejo, Cueva Redonda, Prado Vargas y Cueva La Mina. Por tanto, el agua de dichas cuevas se reúne con las del río Trema, antes o después de sumirse, para después de unos 2 Km de recorrido subterráneo, volver a aflorar al exterior sobre las galerías del Sector de Resurgencia.

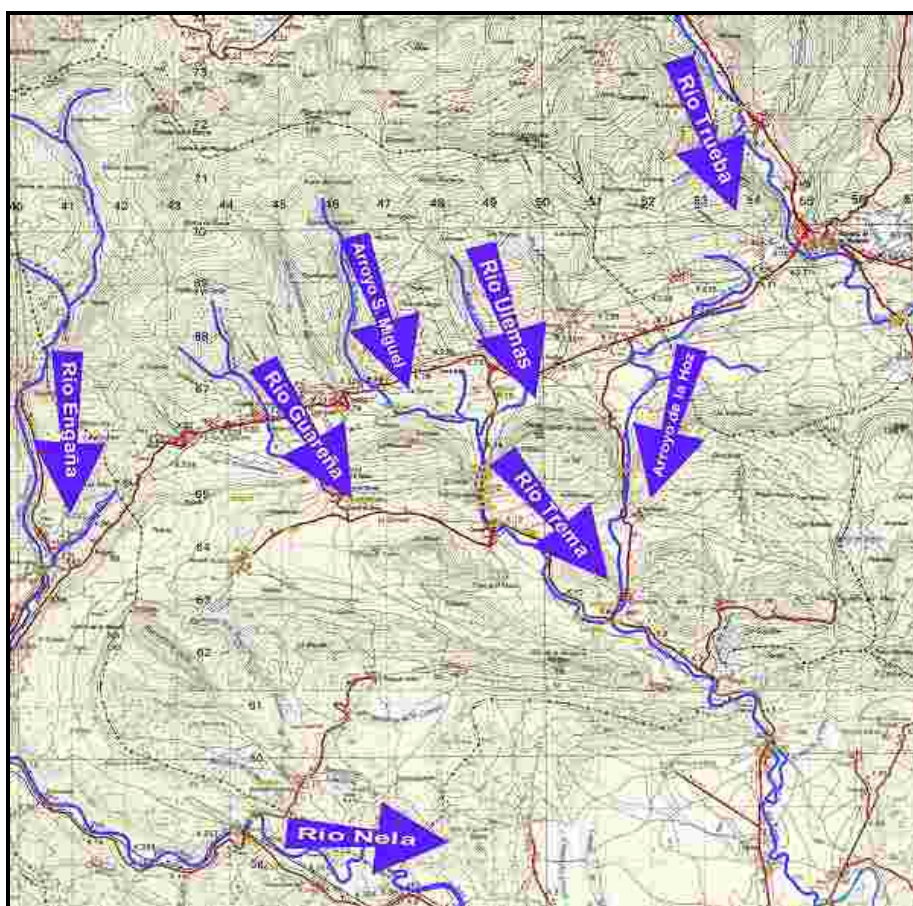


Figura 4.1.2.3.b. Reproducción del mapa topográfico de la Merindad de Sotoscueva con la representación del sentido de circulación de los principales cursos de agua superficiales.

El punto de muestreo nº 3 del río Trema está situado al sureste de La Torcona, separados por algo más de 4,3 Km de distancia de la misma.

Los 3 puntos muestreados del río Trueba se encuentran al nordeste del Complejo. Según el esquema de circulación general de las aguas subterráneas parece que no existe relación con el agua circulante por Palomera y sus galerías anejas, puesto que la que mana de la Torcona se dirige hacia el sureste, mientras que el río Trueba fluye hacia el noroeste. Por añadidura, el punto más cercano del río Trueba a la Torcona se encuentra 180 m de altitud por encima de la resurgencia y a más de 8 Km de distancia en línea recta.



Fotografía 4.1.2.3.a. Río Guareña, junto a la población de Cueva, antes de sumirse en el Complejo kárstico.



Fotografía 4.1.2.3.b. Punto 1 de muestreo en el río Trema, junto a la población de Torme.

4.1.2.4. Descripción de los puntos de muestreo del medio freático

Para tener acceso directo al agua freática del Monumento buscamos pozos artificiales que perforaran el acuífero establecido en sedimento no consolidado. En las zonas kársticas no abundan ni este tipo de sedimentos, ni este tipo de acuíferos, ya que el agua circula por cavidades y sale rápidamente al exterior por las surgencias. Así que sólo pudimos encontrar los 2 que hemos estudiado (tabla 4.1.2.4.a y figura 4.1.2.4.a).

Tabla 4.1.2.4.a. Estaciones de muestreo en el medio intersticial y freático. Fecha y localización GPS de los puntos de muestreo (coordenadas UTM expresadas en metros).

Lugar de muestreo	Población	Fecha	X	Y	Z
Pozo Enfrente Torcón	Hornillayuso	24.11.2002	451082	4762781	633
Pozo en Chalet	Villabascones	30.11.2002	445509	4766403	727
Río Trueba-1	Machorras	25.11.2002	452449	4774304	812
Río Trueba-3	Espinosa Monteros	25.11.2002	456750	4768183	723
Río Trema-1	Cornejo	28.11.2002	448801	4763430	638
Río Engaña	San Martín de Porres	27.11.2002	440481	4763534	703
Río Nela-1	Santelices	27.11.2002	439566	4760382	665
Río Nela-2	Puentedey	27.11.2002	444503	4758598	608
Río Trema-1	Cornejo	04.04.2003	448716	4765294	658
Río Trema-3	Torme	04.04.2003	454329	4760234	599

Uno de los pozos está en la población de Villabascones, aguas arriba del sumidero del Guareña y el otro pozo se encuentra junto al Sector Resurgencia de la cueva, a menos de 500 m de distancia de La Torcona y a una altitud similar. El acuífero donde se encuentra el pozo de Villabascones (figura 4.1.2.a) está muy próximo al nacimiento de las aguas que alimentan el Río Guareña y no debe estar relacionado con otros puntos de muestreo, que se encuentran en otras subunidades de drenaje, o en cotas inferiores dentro de la misma unidad. El pozo frente al Torcón, sin embargo, se abre en una zona sobre la que discurren las aguas que han atravesado todo el Complejo y forman parte del río Trema en su curso subterráneo, a la altura de los puntos 2 y 3, que distan del pozo 400 m y 4 Km respectivamente.

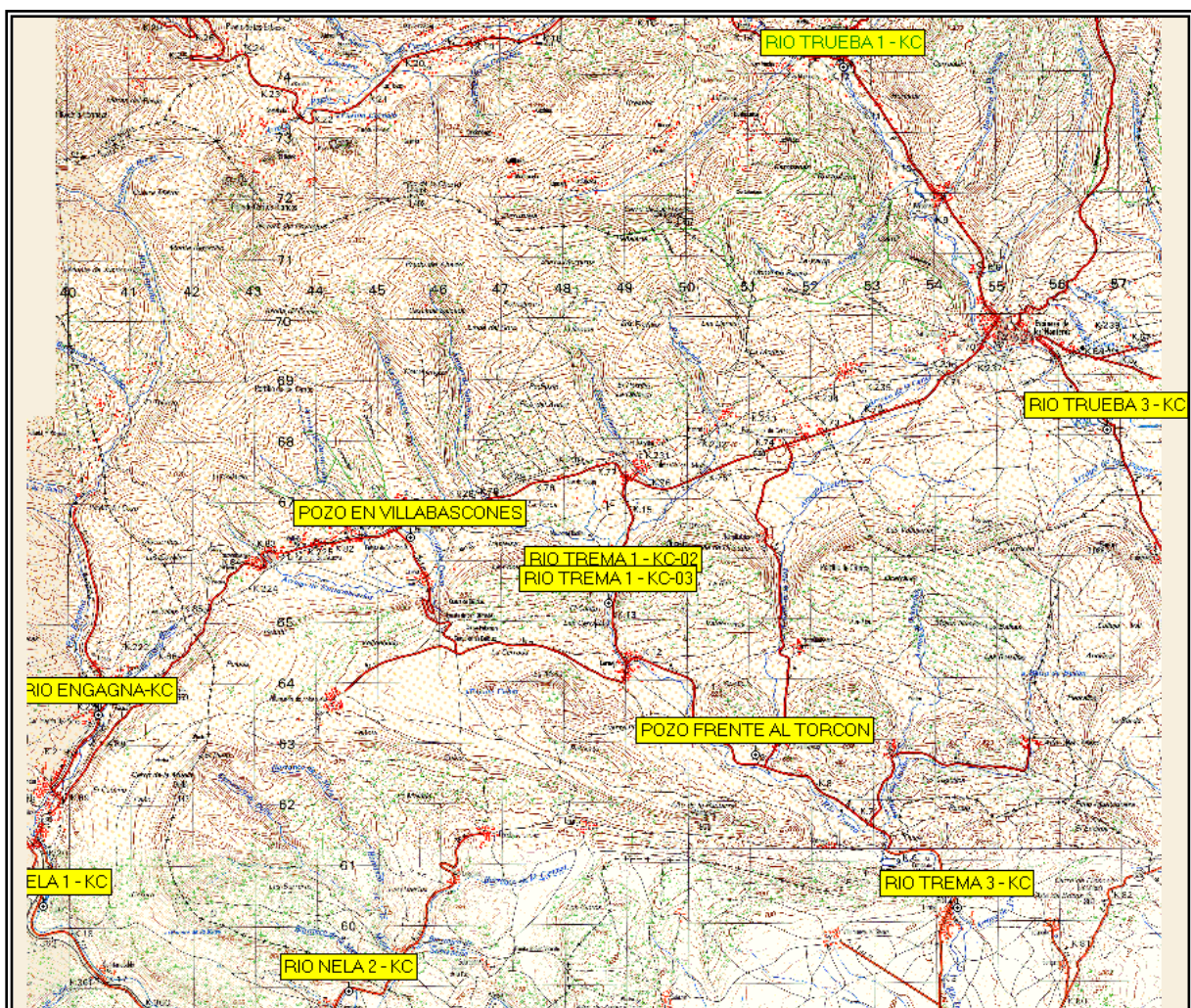


Figura 4.1.2.4.a. Mapa topográfico del área de la Merindad de Sotocueva con las localizaciones de muestreo del medio freático situadas.

En la tabla 4.1.2.4.a se detallan los puntos muestreados en las orillas de los ríos del Monumento para acceder a la fauna intersticial. Se han tomado muestras en puntos que rodean el

acuífero para poder detectar diferencias y semejanzas en la composición faunística del medio intersticial dentro y fuera del Complejo kárstico. Los ríos muestreados son: Engaña (al oeste del Complejo), río Nela (punto 1, al suroeste y punto 2, al sur de Palomera), río Trema (punto 3, una vez resurgen las aguas al sureste) y los puntos 1 y 3 del río Trueba (al nordeste de Palomera, que son los puntos más alejados y cuyas aguas fluyen en otro sentido, hacia el noroeste).

En el punto 1 del río Trema, donde se sume antes de llegar al pueblo de Cornejo, se tomaron 2 muestras en años diferentes (noviembre de 2002 y abril de 2003).

Las posibles interrelaciones de las aguas colectadas de río con el resto del Complejo kárstico se reflejan con la descripción de los puntos de muestreo del medio hiporréico (apartado anterior).

4.1.3. Cartografía y topografía digitales: localización general de todos los puntos de muestreo

A partir de la topografía original del Complejo de Ojo Guareña, cedida por el G.E. Edelweiss, se ha obtenido una representación en trazado vectorial simplificado de las galerías exploradas. Esta topografía esquemática se ha realizado con el programa VisualTopo v. 4.9 (David, 2004). Los puntos de muestreo aparecen superpuestos en la topografía del desarrollo de las galerías (figuras 4.1.1.1.a y 4.1.1.2.a).

El Complejo de Ojo Guareña ocupa un área comprendida en 2 mapas topográficos a escala 1:50.000, el de Espinosa de los Monteros, hoja nº 84, y el de Villarcayo, hoja nº 109, ambos editados por el Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.) y por el Servicio Geográfico del Ejército (S.G.E.).

La mayoría de los puntos de muestreo del *entorno* se pueden localizar en la misma hoja topográfica nº 84 de Espinosa de los Monteros. Sin embargo, hay otros puntos de muestreo que están situados en la hoja nº 109 de Villarcayo, la continuación de la primera hoja hacia el sur.

Con estos dos mapas se ha construido una sola imagen en la que puede representarse todo el Complejo kárstico (figura 4.1.2.a) y todos los puntos de muestreo estudiados.

Se tomaron las coordenadas UTM sobre el terreno (tablas 4.1.2.1.a y b, 4.1.2.2.a, 4.1.2.3.a y 4.1.2.4.a) con un GPS Garmin eTrex Legend (Garmin International Inc., Olathe, Ks, USA). En un cuaderno de campo se anotaban las coordenadas dadas por el aparato, junto con las demás observaciones de cada punto de muestreo, para evitar la posible pérdida de datos por fallos del aparato o falta ocasional de baterías. Una vez transferidos los datos del GPS a un ordenador PC, se pudieron situar sobre la imagen topográfica digital (figura 4.1.3.a) con la ayuda de los programas OziExplorer v.3.95.4i (Newman y Newman, 2003) y Ozi 3D v.1.09 (Newman y Newman, 2005). Se ha realizado un calibrado de las coordenadas de la imagen mediante nueve puntos de control sobre el mapa topográfico utilizado, de modo que la localización de los puntos de muestreo puede considerarse muy precisa.

En la figura 4.1.3.a se puede observar la topografía esquematizada de las galerías exploradas en la cueva de Ojo Guareña superpuesta a una imagen de satélite. Esta área pertenece a un sector sur-oriental del mapa topográfico de Espinosa de los Monteros (nº 84).

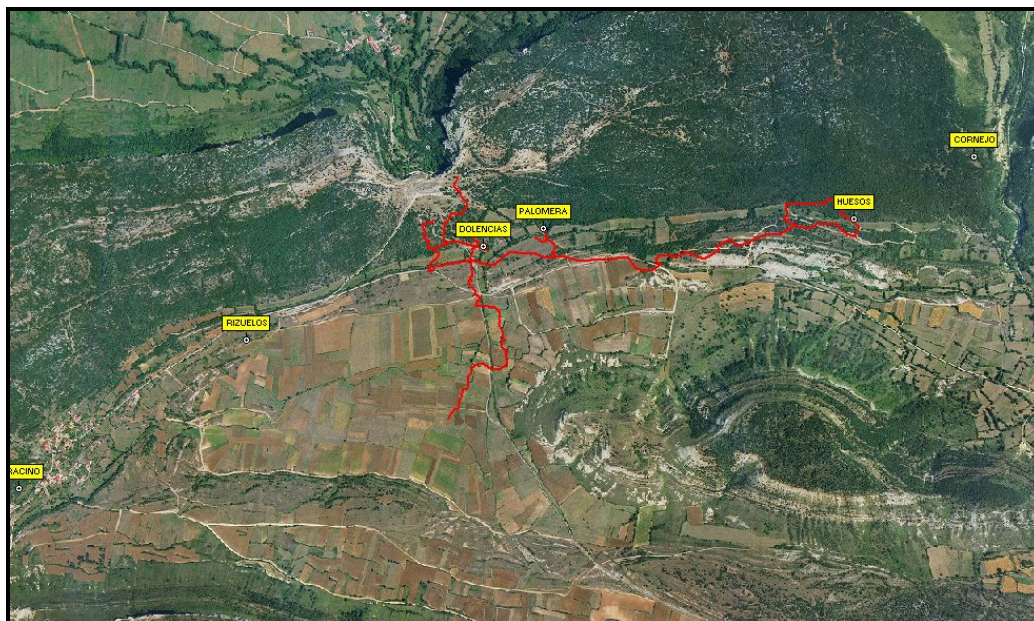


Figura 4.1.3.a. Topografía del recorrido estudiado en la cavidad de Palomera (Ojo Guareña) superpuesta a una imagen digital del terreno. Ozi 3D.

Disponiendo de una imagen de satélite Landsat y de un modelo digital del terreno de 30 m de resolución, con la versión 3D de OziExplorer se ha podido construir la imagen de la figura 4.1.3.b, una vez superpuesta la topografía vectorial de la cavidad principal. Con este conjunto de imágenes de superficie y tridimensionales se facilita la observación de los datos y el seguimiento de los fenómenos que ocurren en este espacio subterráneo.

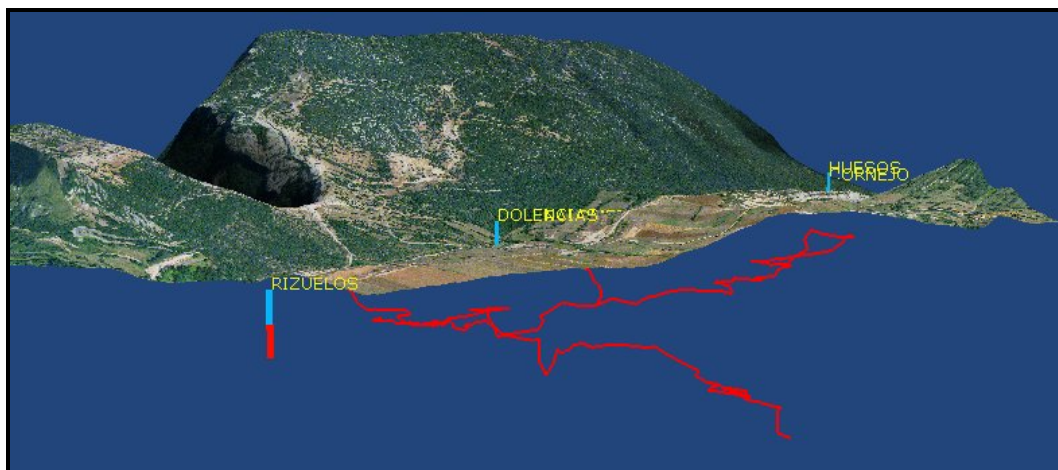


Figura 4.1.3.b. Topografía de las galerías exploradas en Palomera (Ojo Guareña) sobre una imagen tridimensional. Ozi 3D.

4.2. Métodos de muestreo

En este apartado hablaremos de los métodos de muestreo empleados para la recogida de muestras en los diferentes hábitat acuáticos subterráneos estudiados y para realizar los análisis físico-químicos y biológicos de las mismas.

4.2.1. Análisis físico-químico del agua muestreada

De forma periódica se han realizado análisis físico-químicos de las aguas en los diferentes puntos de muestreo de la cavidad principal, *in situ* (análisis básicos) y recogiendo agua para su análisis posterior en laboratorio. Igualmente, en los lugares seleccionados del *entorno* se han analizado las aguas *in situ* y se han recogido muestras para su análisis físico-químico en el laboratorio, siempre en el momento previo a la toma de la muestra biológica.

Para la caracterización química del agua se han medido unas variables básicas *in situ* (pH, conductividad y oxígeno disuelto) y otra serie de variables, como por ejemplo aniones y cationes, se han determinado en los Laboratorios de Geoquímica del Museo Nacional de Ciencias Naturales. En cada punto de muestreo y en cada ocasión que era visitado se medían los valores de conductividad eléctrica, pH, contenido en oxígeno -medido como el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto- y temperatura del agua. En los laboratorios se analizaba el contenido iónico (aniones y cationes): cloro, sulfato, bromo, nitrito, nitrato, fosfato, bicarbonato, flúor, formiato, calcio, magnesio, amonio, sodio y potasio. Para esto se transportaba la muestra de agua en botes de nylon de 250 ml de capacidad, con tapón de rosca con cierre hermético, previamente lavados con agua desionizada procedente de un sistema de ultrafiltración milli-Q y la muestra se conservaba en nevera a 4 °C. Los botes se aclaran previamente con el agua del punto de muestreo antes de tomar la muestra, después se llena el frasco hasta eliminar el aire para minimizar la pérdida de bicarbonatos. Esta muestra destinada a los análisis químicos de laboratorio se toma siempre antes que la muestra biológica para evitar la perturbación del agua que se enturbia durante el muestreo, como se comenta posteriormente en los métodos de muestreo biológicos. Para el muestreo físico-químico del agua de Los Lagos se han utilizado dos sistemas: el primero, como para el resto de muestras se tomó agua de la superficie sin haberla removido previamente, con un bote de nylon de 250 cm³; mediante un segundo sistema adaptado por el propio equipo de investigación, se han tomado muestras del agua del fondo de los lagos. El método consiste en emplear un recipiente (un botellín de vidrio de medio litro de capacidad) lastrado y de boca estrecha, cerrado con un tapón de corcho que impide que entre el agua a medida que dicho bote se sumerge en la columna de agua. La botella se introduce en una bolsa de tela, cerrada con un cordino y una tanca, que lleva una pieza de plomo de 0,5 Kg como lastre en el fondo. El tapón de corcho que cierra la botella está sujeto con hilo de nylon de 10 m de longitud y un cordino, también de 10 m, que a su vez sujeta todo el sistema. Se lanza la botella cerrada dentro de la bolsa lastrada, por cuya abertura asoman cuello y boca de la botella y una vez alcanza el fondo del lago, se tira hilo de nylon para abrir el tapón de corcho, llenándose así la

botella con el agua del fondo. Se utilizó este sistema para poder detectar microestratificaciones químicas, al igual que se dan en los lagos epigeos. En superficie, una vez izada la muestra en el bote de vidrio, se vierte su contenido en los botes de nylon de 250 cm³ utilizados habitualmente.

Una vez recogidas las muestras y debidamente etiquetadas, se mantienen en nevera a una temperatura constante de 4 °C para el transporte y hasta su recepción en los laboratorios del MNCN, para evitar su alteración. Las muestras se analizan en el transcurso de las 48 a 96 h siguientes al momento de su recogida.

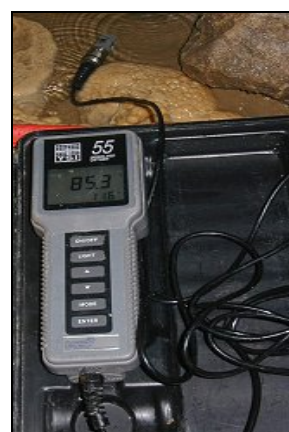
4.2.1.1. Variables medidas en el campo

En el campo, tanto en ríos, pozos y surgencias, como en el interior de las cuevas, se analizaron las siguientes variables de las aguas:

- Conductividad: se ha empleado un conductivímetro de campo Hanna Instruments (Hanna Instruments Inc., Ann Harbor, Mi, USA), modelo HI-9033, en la fotografía 4.2.1.1.a, calibrado previamente al muestreo. La sonda tiene un sistema de compensación automática de temperatura entre 10 y 50 °C, con un rango de medición entre 0'0 µS/cm y 199'9 mS/cm.



Fotografía 4.2.1.1.a. Instrumentos Hanna Instruments: conductivímetro HI-9033 y pHmetro HI-9025 utilizados en el estudio.



Fotografía 4.2.1.1.b. Oxímetro Yellow Spring Instr. YSI 55.

- pH: el pHmetro de campo utilizado, Hanna Instruments (Hanna Instruments Inc., Ann Harbor, Mi, USA), modelo HI-9025, en la fotografía 4.2.1.1.a, calibrado inmediatamente antes de comenzar cada muestreo, opera en una solución líquida a cualquier temperatura, entre 0 y 100 °C, y mide valores de pH de 0 a 14.
- Concentración de oxígeno disuelto: se ha utilizado un oxímetro portátil Yellow Spring Instrument (Geo Scientific Ltd., Vancouver, Canada), YSI modelo 55, que aparece en la fotografía 4.2.1.1.b, con compensación automática de temperatura. Detecta concentraciones relativas de oxígeno disuelto de 0 a 200% de saturación, y está diseñado para tomar los

valores de concentración de oxígeno, compensando en función de la temperatura de la solución, entre los -5 y los 45 °C.

- Temperatura: se tomaba con la sonda utilizada para la medición de la concentración de oxígeno disuelto que, como ya se ha comentado, detecta con precisión temperaturas comprendidas entre -5 y 45 °C.

Para su transporte se deben llevar siempre bien protegidos. Pero, especialmente, durante las incursiones en las cuevas, los aparatos y las sondas se deben llevar bien resguardados para evitar su rotura o mal funcionamiento por golpes. En algunas ocasiones, el tránsito en las cuevas presenta dificultades (grandes desniveles, pasos angostos, escasa visibilidad, etc.) que favorece los golpes accidentales y hay que poner especial cuidado en la protección de estos aparatos portátiles.

4.2.1.2. Variables medidas en el laboratorio

En los Laboratorios de Geoquímica del MNCN se han analizado las aguas subterráneas recogidas para ver su composición en:

- Carbonatos y bicarbonatos: hay que analizarlos de forma inmediata a la recepción de la muestra en el laboratorio, para evitar la alteración de las concentraciones debido a la elevada velocidad de las reacciones de degradación de ambos por pérdida de CO₂. El análisis del contenido de estos iones se ha realizado por volumetría.
- Otros aniones: se ha cuantificado la concentración de cloro (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), bromo (Br⁻), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), fosfato (H₂PO₄⁻), flúor (F⁻) y formiato (HCO₂⁻). Para ello se utiliza una técnica de electroforesis capilar, con el sistema Quanta 4000 CE (Waters, Mildford, MA, USA). Se aplica una corriente constante de 23 µA, y un potencial fluctuante de ±15 KV, con aplicación de un electrolito comercial de alta movilidad: Part. No. WAT049385 (Waters). Para la preparación de las soluciones estándar y químicas se emplea agua desionizada (18 MV) procedente de un sistema de ultrafiltración de Milli-Q. La muestra se inyecta en un capilar de sílice fundida (60 cm de longitud total X 75 µm diámetro) y se mantiene a una temperatura de 35 °C durante el experimento. En el sistema de detección se utiliza una longitud de onda de 254 nm irradiada por una lámpara de mercurio. Para la operación instrumental, la adquisición y registro de los datos se utilizó la estación de trabajo Waters 820 (Waters, Mildford, MA, USA). El electroferograma se obtuvo mediante el programa informático Millennium 2000 (Waters, Mildford, MA, USA) (Santoyo et al., 2002).
- Cationes: se ha medido el contenido en calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), potasio (K⁺), sodio (Na⁺), hierro (Fe²⁺), manganeso (Mn²⁺) y amonio (NH₄⁺). Las muestras se analizan por

espectroscopía de absorción atómica, con un espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo 2380 (Perkin Elmer, San Jose, CA, USA).

4.2.2. Métodos de muestreo biológico del medio acuático

Se han utilizado siete métodos de muestreo diferentes, adecuados a cada hábitat estudiado:

- trampas con cebo
- caza de *visu*
- Karaman-Chappuis
- removido con red de mano, del tipo de las empleadas para muestrear plancton
- bombeo de Bou-Rouch
- *Kicking* y
- manga freatobiológica o red de Cvetkov.

Generalmente todos los dispositivos de muestreo se han adaptado según las necesidades requeridas por los puntos concretos a muestrear (escasa profundidad de agua, charcos profundos, sustrato rocoso, goteos difusos, lugares angostos, surgencias encajadas y estrechas, etc.). Como instrumento básico de muestreo se diseñaron y construyeron redes de mano, del tipo de las usadas para plancton, de diámetros variados, fabricadas con tejido de nylal (compuesto de nylon y poliamida), y con una luz de malla de 100 μm de precisión. La luz de malla habitual en los trabajos de fauna acuática es de 180 μm o 250 μm , pero en nuestro estudio optamos por una luz de malla menor para evitar perder animales muy pequeños o de poco diámetro, como copépodos parastenocáridos o batinelas de la familia Bathynellidae, que no tienen un tamaño corporal suficiente para acabar retenidos en una malla superior a 125 μm . Una malla de 100 μm tiene un tamaño de poro suficientemente pequeño como para retener la mayor parte de los crustáceos y de la fauna intersticial que nos interesa (Galassi et al., 2002), aunque presenta un inconveniente: retiene sedimento fino (limo) que dificulta y alarga el proceso de lavado y separación de muestras. Pero consideramos que el compromiso entre ventajas e inconvenientes compensa al conseguir una imagen más real de la composición de las poblaciones. Además, si se mantienen las muestras en vivo, esta malla consigue una buena relación entre la retención de fauna y la eliminación de partículas de arcilla y limo que facilitarían la generación de condiciones de anoxia en la muestra. La falta de oxígeno en la muestra en vivo llevaría a la muerte y degradación del material biológico. Con la pérdida de estructuras y coloraciones de los organismos se dificulta la identificación taxonómica que se realiza utilizando caracteres morfológicos. Además, con la muerte celular se desestructura rápidamente el contenido genético de los animales y se reduce la posibilidad de utilizar con éxito técnicas moleculares, que requieren la recepción de tejidos vivos o congelados de forma inmediata tras su aislamiento.

4.2.2.1. Métodos de muestreo en cuevas

Los medios que se han muestreado en las cuevas son muy variados: *gours*, orillas de río, lagos, goteos, charcos, etc. Las profundidades de los mismos, el sustrato y el volumen de agua varían de unos a otros, así como el tiempo según las estaciones del año (sequía extrema, inundación, etc.). Por ello lo primero que hay que considerar es que hay que utilizar diferentes métodos de muestreo y adecuarlos a cada ocasión y hábitat.

Lo segundo que hay que tener en cuenta al preparar el equipo de muestreo necesario para trabajar en las cuevas es que debe transportarse bien protegido, para evitar su deterioro en pasos angostos, en pozos o en zonas donde puede sufrir golpes o caídas. Así, para transportar el material de muestreo utilizamos mochilas de PVC resistentes a la abrasión, preparadas *ad hoc*. Dos mochilas para transportar los sistemas de medición físico-química y para los aparatos de muestreo biológico y una tercera mochila para las muestras biológicas y físico-químicas. Todas ellas llevan un sistema de anclaje, asideros y un cabo para superar los obstáculos.

Se han utilizado básicamente 3 métodos de muestreo:

- **Caza de *visu*:** se ha empleado un aspirador acuático de diseño propio, construido con un bote de plástico de 75 ml de capacidad y en cuyo tapón de rosca se incluyeron dos tubos de goma (fotografía 4.2.2.1.a): succionando aire por uno de los tubos, se llena el recipiente de agua por el otro (Camacho, 1992; Malard *et al.*, 2002). Con este aspirador acuático se ha recogido fauna que se observa a simple vista en el agua. Por tanto es efectivo sólo para la fauna de mayor tamaño y en aquellos momentos en los que se encuentran sobre el sedimento o nadando. En la Granja de Ortiz (OG-14) abundan isópodos que se aprecian a



Fotografía 4.2.2.1.a. Aspirador para caza de *visu* de la fauna.

simple vista y pudieron ser atrapados de esta manera. Éstos presentan un hábito cavador, como el resto de las especies pertenecientes a esta familia Stenasellidae que se encuentran siempre en charcos con el fondo limoso (Magniez, 1974). En las cuevas, la iluminación es artificial y se porta en el casco, con la desventaja de que la visibilidad es muy limitada. La detección de fauna, por tanto, es difícil y esta técnica no resulta muy eficaz, pero sirve como apoyo a otras técnicas de muestreo más productivas.

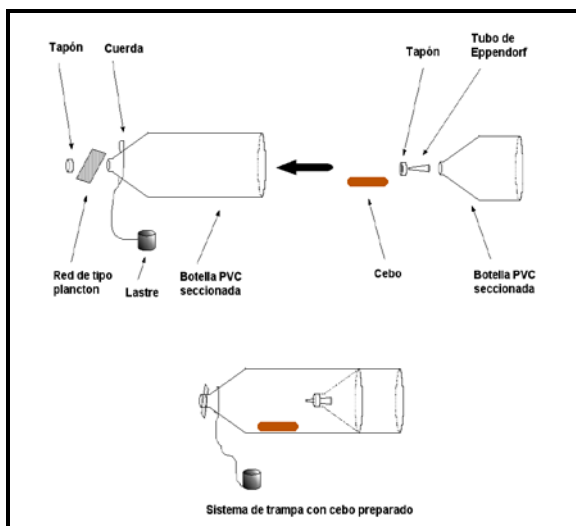


Figura 4.2.2.1.a. Dibujo esquemático del sistema diseñado de trampas con cebo.



Fotografía 4.2.2.1.b. Sistema de trampa con cebo. Localización OG-10, *Gours de las Hojas*.

- Utilización de trampas con cebo: al igual que la caza de *visu*, se trata de una técnica selectiva, puesto que sólo una parte de la fauna, la carnívora y la omnívora se sentirá atraída por el cebo que utilizamos. Dentro de este tipo de trampas se han utilizado (Camacho, 1992) unas que retienen y concentran la fauna en un recipiente sólido, del cual no puede escapar una vez que entra atraída por el olor del cebo. Estas trampas pueden permanecer hasta un mes en la cueva sin perder la fauna. Las trampas utilizadas en los muestreos de este estudio se construyeron utilizando pares de botellas de material plástico PET de 500 cm³, seccionadas transversalmente y encajadas, con el cuello de la botella orientado en el mismo sentido. En la botella que queda encajada en el interior se coloca el tapón con una punta de pipeta plástica insertada. El dispositivo se muestra en la figura 4.2.2.1.a y en la fotografía 4.2.2.1.b instalado en uno de los charcos de la cueva, amarrado a una estalagmita para evitar la deriva ante posibles crecidas de las aguas. De este modo se facilita la entrada de la fauna por la abertura mayor y se complica la salida al exterior de la trampa. En la botella que queda en el exterior, se recorta la cara circular del tapón y se enrosca sobre un pequeño retal de malla, la misma utilizada en la fabricación de las mangas de mano, con una luz de 100 µm. Con este sistema se consigue la renovación de los gases disueltos y del agua sin que escape la fauna. Las trampas se lastran con una piedra sujeta al exterior de las botellas, para evitar que floten y además se sujetan con un cabo de nylon a la roca, para evitar que sean arrastradas en momentos de crecida. El cebo, en nuestro caso media salchicha, se coloca en el interior de la trampa. En la siguiente visita, transcurrido al menos un mes, se recoge el contenido de la trampa, se lava la malla sujeta por el tapón, y se extrae la fauna que está retenida en ella. Acto seguido se sustituye fácilmente el sistema de trampa por otro nuevo, incluyendo cebo, botellas, tapones y malla. Este tipo de trampas se ha

utilizado en periodos de un mes, en los charcos o *gours* de aguas permanentes con recarga y renovación hídrica.

- Muestreo por filtración: es un tipo de muestreo más exhaustivo, que recoge y concentra la fauna cuyo tamaño es mayor que el de la luz de malla de la red. Este tipo de muestreo se aplicó en muy diversos ambientes: charcos, *gours*, marmitas, goteos de infiltración difusa, cursos y orillas de ríos subterráneos, sifones y en lagos. La técnica se adecua al hábitat en cada caso:
 - En infiltraciones difusas hubo que instalar un sistema de recogida por medio de lonas impermeables de PVC (fotografía 4.2.2.1.c), para concentrar los diferentes goteos, de modo que se pudo recoger el conjunto en una pequeña red de 100 μm . de luz de malla, capaz de retener el material transportado por el agua. Periódicamente se recogía la muestra y se preparaba el sistema para un nuevo proceso de filtración.
 - Las muestras de río se han tomado de dos zonas: en la orilla, usando el método de Karaman-Chappuis (descrito para ríos epigeos en Karaman, 1934; Chappuis, 1942, 1950; Camacho, 1992), adecuado a la naturaleza rocosa predominante en las cuevas, fotografía 4.2.2.1.d; y en el curso de agua, mediante el método de removido del sustrato (método de *kicking*) (Welch, 1948; Macan, 1958; Albrecht, 1959; Cummings, 1962 y Southwood, 1978), que consiste en ir removiendo el sedimento contracorriente con los pies, situando una red de fondo inmediatamente delante de los pies, aguas abajo, de modo que se filtre la materia en suspensión arrastrada por la corriente y la fauna quede retenida en la red (luz de malla de 180 μm .).



Fotografía 4.2.2.1.c. Filtración de agua de percolación en OG-14, Granja de Ortiz.



Fotografía 4.2.2.1.d. Método de Karaman-Chappuis en el punto OG-9 de la cueva Palomera.

- En charcos, *gours* y marmitas se remueve el sedimento del fondo con el propio aro de la manga de muestreo de mano (fotografías 4.1.1.1.a y 4.1.1.1.d) y con ayuda de la otra mano, filtrando de manera simultánea y rápidamente el agua turbia (Ginet y Decou, 1977; Camacho, 1992) que lleva en suspensión la materia orgánica.
- En los lagos profundos se usó un bote neumático para el desplazamiento por los mismos (fotografía 4.1.1.2.d) y se utilizó la red de Cvetkov, o manga freatobiológica (Cvetkov, 1968) (ver detalle más adelante en los métodos de muestreo en pozos) para recoger la fauna. Lanzando esta manga lastrada se alcanza el fondo de los mismos y se remueve el sedimento, sacando la fauna a la columna de agua y haciéndose posible la filtración y concentración de dicha fauna.

El método más empleado para el muestreo del agua de las cuevas es el de removido con manga de mano. Es el método que procura mejores resultados en relación al esfuerzo de transporte y manejo.

4.2.2.2. Método de muestreo en surgencias

En las surgencias se ha utilizado el método de removido y filtración del sedimento con una manga de mano (luz de malla de 100 μm .), del mismo modo que se emplea en las cuevas. Es un método muy eficaz cuando hay abundante sedimento, como ocurre en las surgencias estudiadas, sedimento que una vez removido saca a la luz toda la fauna que se ha arrastrado desde el acuífero hacia el exterior, tanto por las crecidas como por los movimientos habituales de los animales que cíclicamente abandonan su refugio en el fondo de las corrientes subterráneas para pasar a la columna de agua que acaba saliendo al exterior por las surgencias.

En alguna surgencia especial, como La Torcona, se ha podido muestrear mediante el método de Karaman-Chappuis y el de Bou-Rouch, descritos más abajo, gracias a las grandes acumulaciones de sedimento que se producen en la entrada debido a las crecidas habituales y que es donde resulta retenida una buena parte de la fauna que sale arrastrada por el agua.

4.2.2.3. Métodos de muestreo en el medio intersticial

Para la toma de muestras de la fauna intersticial se han utilizado los métodos de: Karaman-Chappuis en las orillas de los ríos (Chappuis, 1942, 1950, Camacho, 1992) y de Bou-Rouch bajo el lecho de los ríos (Bou y Rouch, 1967; Bou, 1974, Camacho, 1992).

El método de Karaman-Chappuis consiste en cavar un hoyo en la orilla de un río hasta alcanzar el agua freática. A continuación, sin dejar de remover se extrae el agua turbia y se vierte sobre un tamiz de luz de malla grande (entre 1 y 3,5 mm), que lleva debajo acoplada una red de 100 μm (modificación de Camacho, 1992), como aparece en la fotografía 4.2.2.3.d. Se remueve el fondo del hoyo constantemente para evitar que la fauna regrese rápidamente al sedimento en el

que vivía y del cual ha sido sustraída. La mayoría de estos diminutos animales necesitan estar constantemente en contacto con los granos del sedimento para orientarse (tigmotactismo positivo); pierden la capacidad de desplazarse de un modo direccional en el momento en que dejan de notar los granos de arena. El volumen de agua que se extrae depende del tipo de estudio que se realiza, Danielopol, 1989. En nuestro caso, 30 litros es una cantidad de compromiso suficiente para asegurarnos obtener una muestra representativa de la comunidad faunística y que proporciona un volumen de sedimento razonable, de modo que la separación de muestras no sea una tarea eterna. En el propio río se puede realizar un primer lavado somero de la muestra, para no transportar al laboratorio grandes cantidades de sedimento que podrían deteriorar la fauna por abrasión. El método de Karaman-Chappuis no sirve para tomar muestras del medio hiporréico, bajo el lecho del río, pero presenta ventajas en el muestreo de las orillas frente a métodos alternativos, como el de Bou Rouch que sí puede aplicarse dentro del lecho de los ríos. Las ventajas del método de Karaman-Chappuis frente al de Bou-Rouch son:

- ✓ Resulta menos agresivo para la fauna y los ejemplares se recogen en buen estado de conservación, muy importante para el posterior estudio taxonómico.
- ✓ Rinde mejores resultados en cuanto a número de ejemplares recogidos por volumen de sedimento extraído.
- ✓ Es fácil de poner en práctica, sólo requiere el concurso de una persona y no hay que aplicar excesivo esfuerzo físico.
- ✓ El material es fácil de adquirir y barato (guantes, pala, tamices...).

El método de Bou-Rouch (Bou y Rouch, 1967; Malard *et al.*, 2003) consiste en clavar en el sedimento, a golpe de mazo de 5 kg y a la profundidad deseada, un tubo que está perforado en su extremo inferior por cuatro hileras de agujeros equidistantes (separados entre si 1,5 mm) y de 5 mm de diámetro. Mediante el acople en el extremo superior de una bomba de mano se extraen a través de los orificios el agua y el sedimento, que son atraídos de un área circundante

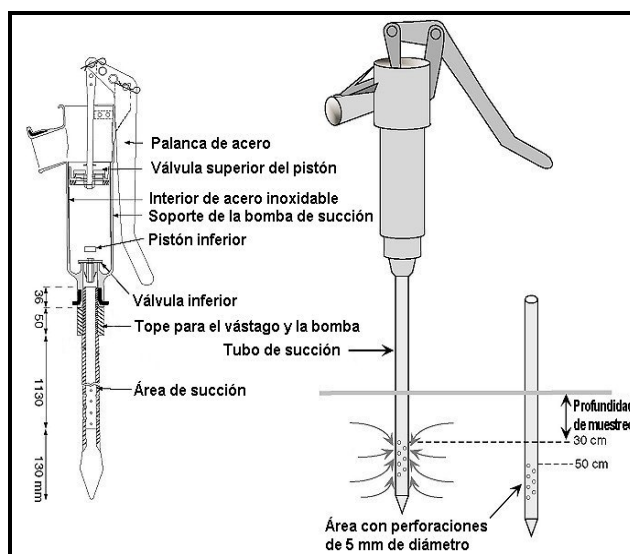


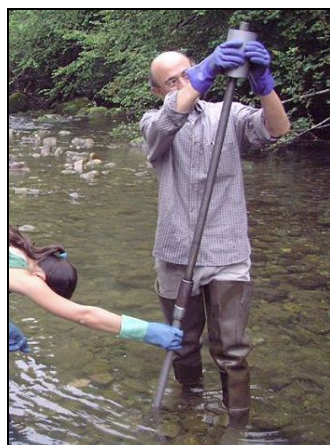
Figura 4.2.2.3.a. Esquema del instrumental utilizado durante el bombeo por el método de Bou-Rouch en el medio hiporréico. Modificado de Malard *et al.*, 2002.

de un diámetro que depende de la fuerza de la bomba y del tipo y compactación del sedimento donde se clavo el tubo. El agua se recoge en un cubo para estimar el volumen filtrado. Después la

muestra se reduce, bien en tamices o en manga, para concentrar finalmente el sedimento obtenido con la fauna. Este método permite la toma de muestras cuantitativas en el sedimento subyacente a una masa de agua, lo que resulta imprescindible para el estudio de la fauna hiporréica.



Fotografía 4.2.2.3.a. Método de muestreo de Karman-Chappuis en la orilla del río Torme.



Fotografía 4.2.2.3.b. Método de Bou-Rouch. Clavando el tubo en el lecho de un río, junto al curso de agua.



Fotografía 4.2.2.3.c. Método de Bou-Rouch. Bombeo del agua del medio hiporréico y método de kicking.

En nuestros muestreos, en los ríos se ha clavado el tubo 50-100 cm por debajo de la superficie del sedimento y se han bombeado 5 l de agua en cada sondeo (Bou, 1974). Después se ha lavado la muestra recogida con una red de mano de 100 μ m, del mismo modo que se procede en el método de Karaman-Chappuis. A diferencia de otros métodos, utilizando la técnica de Bou-Rouch la fauna sufre una fuerte fricción al atravesar el émbolo de la bomba de succión, por lo que puede resultar deteriorada dificultando su estudio taxonómico posterior. Además el material de muestreo es difícil de conseguir, caro, y de muy pesado manejo. Requiere siempre el concurso de dos personas: una que sujeta el tubo y otra que maneja el mazo (figura 4.2.2.3.a, fotografías 4.2.2.3.b y 4.2.2.3.c) y hay que emplear gran esfuerzo físico para introducir el tubo en el sedimento, especialmente si el sedimento cuenta con cantos y piedras gruesas.

En nuestro caso se ha empleado una modificación de este método para facilitar la introducción del tubo en el sedimento: en el tubo principal se encaja un vástago más fino sobre el que se desliza un peso de 8 Kg, haciéndolo caer con fuerza como se ve en la fotografía 4.2.2.3.b.

4.2.2.4. Método de muestreo en pozos

En los pozos se ha utilizado la manga freatobiológica de Cvetkov (Cvetkov, 1968; Pospisil, 1992) modificada. Se trata de una manga construida con nital de luz de malla de 0,125 mm acoplada a un aro de acero de 50 cm de diámetro, lastrado con plomos y con unas cadenas (figura 4.2.2.4.a y fotografía 4.2.2.4.a).

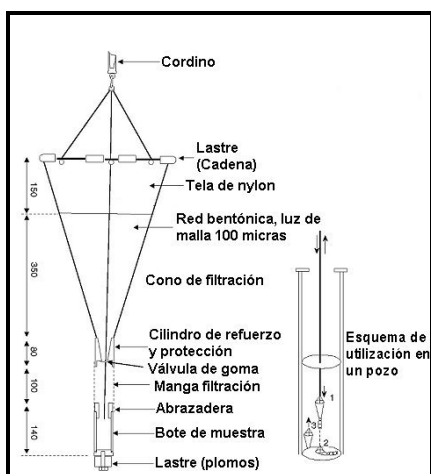


Figura 4.2.2.4.a. Esquema de la Manga freatobiológica o red de Cvetkov. Modificado de Malard *et al.*, 2002.



Fotografía 4.2.2.4.a. Introduciendo la red de Cvetkov en un pozo. Detalle del bote lastrado y cadenas en el aro superior que ayudan a suspender el sedimento.

En la parte media lleva un cilindro de plástico con una válvula que permite la circulación del agua en un solo sentido. El extremo posterior está también lastrado y lleva acoplado el bote para la recogida de la muestra. Se maneja lanzándola al fondo del pozo, cuando toca el fondo se desplaza hacia los lados para que las cadenas y el propio aro superior remuevan el sedimento. Se asciende y desciende repetidas veces por la columna de agua de manera que se vaya filtrando toda el agua turbia removida que lleva en suspensión los animales extraídos del fondo. La válvula se cierra por la presión del agua al descender la manga y se abre al ascender permitiendo la entrada de fauna. Con este ingenioso y sencillo sistema se evita la pérdida de la fauna una vez que ha entrado en la red.

4.3. Resumen de las muestras recogidas en las galerías de Palomera y en el *entorno*

En total se han visitado 79 localizaciones diferentes, de las cuales 33 corresponden a la cavidad principal de Ojo Guareña, 10 forman parte del *recorrido habitual* y 23 se encuentran en las ubicaciones de muestreo ocasional de la cueva Palomera. Las otras 46 localizaciones del *entorno* corresponden a 12 cuevas, 12 surgencias, 12 lugares repartidos en 7 ríos y 2 pozos del *entorno*. Las muestras faunísticas y para análisis físico-químico recogidas pueden verse resumidas en la tabla 4.3.a.

Se ha realizado el estudio físico-químico de 148 muestras de agua, 108 de la cavidad principal del Complejo y 40 procedentes del *entorno*. Algunos análisis básicos se realizaron *in situ* (como ya se ha descrito más arriba) y otros se han llevado a cabo en laboratorio. Para el estudio faunístico se han recolectado 241 muestras, 175 en la cueva Palomera y 66 en los alrededores de la misma, dentro del Monumento Natural de Ojo Guareña, como ya se ha detallado.

Tabla 4.3.a. Número de muestras biológicas y para análisis físico-químico recogidas en Palomera y en el *entorno*. Entre paréntesis aparece el número de puntos de muestreo (localizaciones) estudiados.

	PALOMERA		ENTORNO				TOTAL (79)
	R.Habitual (10)	R.Ocasional (23)	Cuevas (12)	Surgencias (12)	Hiporréico (12)	Freático (10)	
F.Química	71	37	12	12	12	4	148
Biología	129	46	25	16	15	10	241

Es en Cueva Palomera donde se han estudiado mayor número de muestras, algo más de un 70%, figura 4.3.a, tanto en el caso de muestras biológicas como en el caso de las muestras destinadas a los análisis físico-químicos del agua, en distintos puntos y en distintos momentos del año.

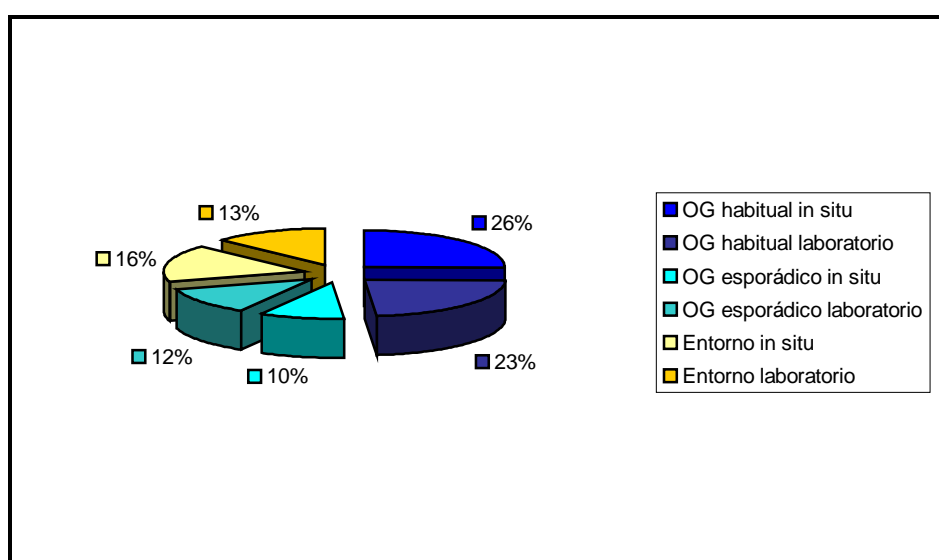


Figura 4.3.a. Distribución de las muestras de estudio físico-químico en los puntos de muestreo de la cueva y del *entorno*.

Como se ve en la figura 4.3.b, en el conjunto de medios estudiados en el entorno de Palomera, las cuevas son las que han recibido mayor atención, ya que el 38% del total de muestras biológicas recogidas proceden de este hábitat. Las surgencias y el medio hiporréico asociado a ríos han recibido casi la misma atención con un 24% y un 23%, respectivamente, del total de muestras biológicas recogidas.

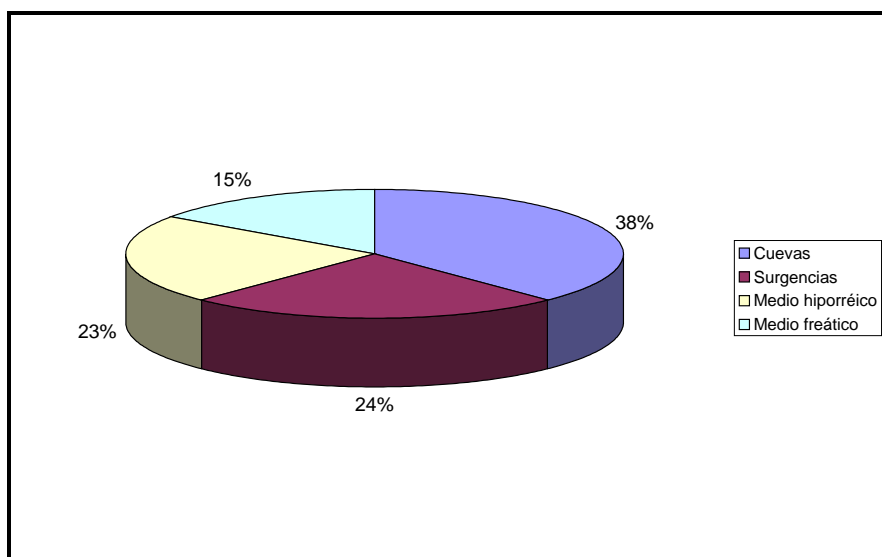


Figura 4.3.b. Distribución de las muestras biológicas en los diferentes hábitat estudiados del *entorno*.

4.4. Conservación de las muestras biológicas, fijación y lavado

El material biológico es frágil y la degradación de la materia orgánica puede ser rápida en función de la temperatura, por lo que debe recibir siempre el tratamiento específico más adecuado y a la mayor brevedad posible y siempre en función de los estudios posteriores que van a realizarse con las muestras.

Una vez colectada la fauna en un punto de muestreo, debe conservarse en nevera (4 °C) y si no se revisa en el plazo máximo de tres días, se debe fijar con formalina al 4% para preservar los tejidos. El protocolo más indicado para crustáceos (Galassi *et al.*, 2002) indica que las muestras con formalina se deben mantener refrigeradas (a 4 °C) durante 72 h a 96 h para que la formalina actúe adecuadamente. Una vez pasado el periodo de fijación, se lava la muestra con abundante agua para eliminar todo el formaldehído y ya se puede conservar en una disolución acuosa de etanol al 70% y a temperatura ambiente.

Si la muestra se puede revisar en un plazo de 72 horas, entonces el material se mantiene en vivo, en nevera y a 4 °C, hasta el momento del lavado de la muestra y la separación de la fauna a la lupa. Una vez hecha la separación, el resto de la muestra se fija y la fauna se conserva en la disolución más adecuada conocida para cada grupo taxonómico: líquido de Angelier (Angelier, 1953, Valdecasas y Baltanás, 1989, Camacho y Bedoya, 1994) o de Koenike (Barr, 1973, Cook, 1974) para ácaros acuáticos, formalina al 10% para nematodos (Mahoney, 1973) y etanol al 70% con unas gotas de glicerina para el resto de la fauna (Camacho et al., 1992). En el caso de los crustáceos, se conservan en la disolución alcohólica después de haber estado 96 h en formalina al 4%. Siempre que es posible, se conservan ejemplares a -20 °C, sin haberlos fijado previamente, para estudios moleculares posteriores.

En el laboratorio las muestras se lavan por un método de decantación y tamizado, una modificación de la mecánica seguida por Elmgren (1973) y Thiel (1966), con el fin de eliminar el formol y todo el

sedimento mineral posible (grava, arena y arcillas). La muestra se separa en dos fracciones, una gruesa ($> 1\text{ mm}$) y otra fina ($> 0,100\text{ mm}$), cuando hay materia orgánica de tamaños muy dispares, para facilitar el aislamiento posterior de la fauna (Camacho, 1992). Este proceso permite una revisión a la lupa más rápida y eficaz de las fracciones de muestra. La rutina de lavado es como sigue (figura 4.4.a):

- 1- Se colocan dos tamices de acero acoplados bien limpios (puesto que es importante evitar la contaminación entre muestras), uno de $100\text{ }\mu\text{m}$ en la base y otro de 1 mm superpuesto. Se vierte la muestra sobre el tamiz superior lavando con abundante agua, sin que caiga el chorro de agua directamente sobre la muestra para no deteriorar la fauna. Así se consigue eliminar el formol y separar la muestra en las dos fracciones. Se disminuye la cantidad de sedimento y se evita la abrasión de la fauna de menor envergadura por limadura y trilladura con el sedimento más vasto.

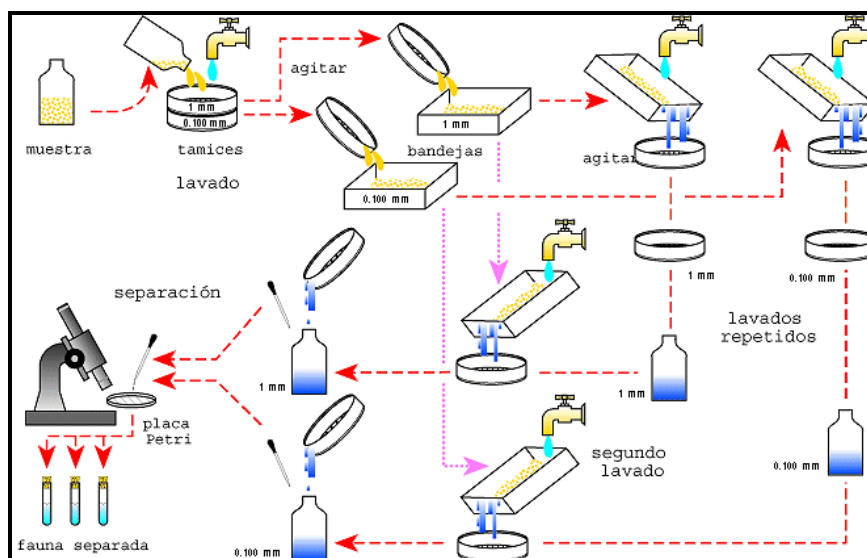


Figura 4.4.a. Esquema de lavado y revisión de muestras faunísticas y aislamiento del material. (Esquema modificado de Camacho, 1992).

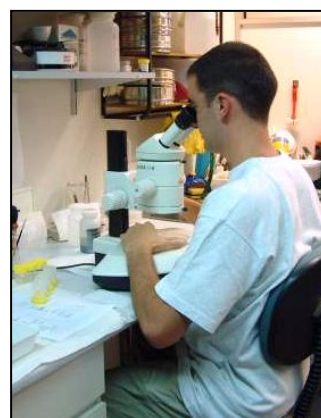
- 2- Las fracciones se lavan por separado. La muestra que queda retenida en cada tamiz se vierte en una bandeja que se rellena con agua. La bandeja se agita para que la materia orgánica más ligera se separe de la inorgánica, de mayor densidad, y salga a flote. Se vierte el agua con la suspensión sobre un tamiz con una luz de malla de $100\text{ }\mu\text{m}$ limpio. Este paso se repite, agitando cada vez más enérgicamente, tantas veces como requiera el contenido en materia orgánica de la muestra hasta comprobar que ya no queda materia orgánica en la muestra (lo cual se verifica observando el sedimento bajo la lupa binocular), momento en que se puede eliminar el sedimento restante.
- 3- Si las fracciones de la muestra contienen mucha materia orgánica, se conservan por separado, en diferentes botes pertinentemente rotulados, para facilitar la revisión posterior a la lupa.

- 4- Estas fracciones de la muestra original se conservan en etanol al 70% con unas gotas de glicerina. La glicerina crea una película alrededor de los animales impidiendo que se sequen si el alcohol se evapora accidentalmente.

4.5. Revisión de las muestras biológicas. Separación por grupos faunísticos

La separación de la fauna se realiza bajo la lupa binocular. Se vierten pequeñas porciones de muestra sobre una placa Petri rayada. Las rayas permiten una revisión sistemática de toda la placa para evitar dejar área alguna sin revisar. La placa se dispone bajo la lupa binocular, con oculares de diez aumentos (10X) y objetivos zoom de 0.8 a 8 aumentos (fotografía 4.5.a). Se han utilizado dos lupas, con ópticas Zeiss y Olympus respectivamente. Ambas con posibilidad de iluminación superior por medio de una fuente de luz fría externa y con una fuente de luz inferior (base diascópica).

El material empleado para la separación de la fauna del sedimento consiste en un juego de agujas enmangadas de diferentes grosores, fabricadas con alfileres entomológicos, pinzas entomológicas finas, pinceles y pipetas Pasteur. La fauna, aislada por grupos taxonómicos superiores (hidras, rotíferos, turbelarios, nematodos, moluscos bivalvos y gasterópodos, hirudíneos, oligoquetos, tardígrados, ácaros acuáticos, cladóceros, ostrácodos, copépodos, sincáridos, anfípodos e isópodos), se agrupó en frascos de 20 cm³ con tapón de rosca hermético, debidamente rotulados con datos detallados: lugar de recolección, fecha de muestreo, tipo de muestreo, grupo taxonómico, recolector y líquido conservador utilizado. Todo el material separado se registra en cuadernos de laboratorio, apuntando las observaciones realizadas sobre cada muestra y el recuento de la fauna. Se anotó el número de individuos aislados de cada grupo para el estudio poblacional. Simultáneamente se apuntaba la presencia de otros grupos faunísticos epigeos (estadios larvarios e imagos de diferentes insectos y otros artrópodos terrestres) y la cantidad relativa de materia orgánica y sedimento que contenía la muestra original, factor que da una idea del grado de conexión que existe entre estos puntos y el medio epigeo.



Fotografía 4.5.a. Separación taxonómica de la fauna bajo la lupa binocular.

4.6. Metodología taxonómica

Una vez separada de esta forma toda la fauna encontrada en cada muestra, se enviaron todos los botes a los diferentes especialistas para la determinación específica de cada grupo faunístico (tabla 4.6.a).

En la mayoría de los grupos faunísticos habituales entre la fauna intersticial (principalmente crustáceos) es necesaria la realización de disecciones de una buena parte de los diferentes apéndices del cuerpo para poder llegar a identificar las especies. Generalmente, los apéndices más informativos

(caracteres con valor taxonómico) a la hora de hacer determinaciones específicas son los especializados en las funciones de la marcha, en la reproductora y de alimentación. Cada especialista utiliza los métodos más adecuados, generalmente perfeccionados y puestos a punto por él mismo, para el estudio concreto del grupo faunístico objeto de su interés. Dada esta circunstancia no se va a explicar la metodología taxonómica que han empleado los diferentes taxónomos para facilitarnos la lista de especies presentes en las muestras. En el marco de esta tesis, las determinaciones específicas de Isopoda y Amphipoda (Crustacea Peracarida) son propias, para lo que se ha contado con el asesoramiento del Dr. Damián Jaume, con quién se ha desarrollado el trabajo en el Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA, CSIC).

Tabla 4.6.a. Listado de taxónomos colaboradores y especialidad taxonómica a la que se dedican.

Especialista	Grupo faunístico
Dr. Rafael Araújo (MNCN, Madrid)	Mollusca Bivalvia
Dra. Beatriz Arconada (MNCN, Madrid)	Mollusca Gastropoda
Dr. Anton Brancelj (Slovenia)	Crustacea Cladocera
Dra. Ana I. Camacho (MNCN, Madrid)	Crustacea Syncarida
Dr. Antonio García-Valdecasas (MNCN, Madrid)	Hydrachnidia y Limnolacarida
Dra. Noemí Guil (MNCN, Madrid)	Tardigrada
Dr. Damián Jaume (IMEDEA, Mallorca) y Jaime Rodríguez	Crustacea Isopoda, Amphipoda y Copepoda Cyclopoida
Dr. Pierre Marmonier (Francia)	Crustacea Ostracoda
Dr. Enrique Martínez-Ansemil (Univ. La Coruña)	Oligochaeta
Dr. Alfonso Navas (MNCN, Madrid)	Nematoda
Dra. Carolina Noreña (MNCN, Madrid)	Turbellaria
Dra. Marian Ramos (MNCN, Madrid)	Mollusca Gastropoda
Dra. Pilar Rodríguez (Univ. Bilbao)	Oligochaeta
Dr. Boris Sket (Slovenia)	Hirudinea
Dr. Fabio Stoch (Italia)	Crustacea Copepoda Cyclopoida y Harpacticoida

4.6.1. Morfología general de Isopoda y Amphipoda

Los isópodos y anfípodos son Crustacea Pennant, 1777, Malacostraca Latreille, 1806, Eumalacostraca, Grobben, 1892, Peracarida Calman, 1904 de los órdenes Isopoda Latreille, 1817 y Amphipoda Latreille, 1816.

El Grupo de los crustáceos, en general, se caracteriza por:

- La mayoría son acuáticos.
- Realizan el intercambio gaseoso por medio de branquias o a través de la propia cutícula.
- Tienen dos pares de antenas.
- El cuerpo está formado por diferentes segmentos corporales denominados somitos o metámeros. Presenta dos regiones corporales: cabeza y tronco, con tórax y abdomen. En extremo terminal tienen un telson, aunque puede estar más o menos atrofiado y no se considera un verdadero segmento corporal. A la unidad cefálica se unen uno o varios segmentos torácicos, formando el cefalotórax.
- La mayoría de los segmentos corporales, en especial los anteriores, tienen pares de apéndices, articulados y birrámeos, con un protópodo basal y las dos ramas, endópodo y exópodo, ambas segmentadas. Los apéndices pueden mostrar diferente grado de especialización.

Los crustáceos tienen en su segmento cefálico 5 pares de apéndices dispuestos en serie. Comenzando por la línea media cefálica son:

- 1- primer par de antenas
- 2- segundo par de antenas
- 3- mandíbulas
- 4- primer par de maxilas
- 5- segundo par de maxilas (excepto en Ostracoda y Cladocera)

Los Malacostraca forman un grupo bien definido dentro de los Crustacea, todos ellos con apéndices abdominales, molinillo gástrico, un tórax de ocho segmentos y un abdomen de seis segmentos (rara vez con ocho). La morfología y disposición de los apéndices cefálicos y los del tronco caracteriza los diferentes grupos de Crustacea.

Los Peracarida son un gran grupo entre los Crustacea y habitan diversos ambientes: agua marina, agua continental y medio terrestre. La mayoría son acuáticos y comparten las siguientes características:

- Presentan un único par de maxilípedos (raramente dos o tres pares).
- Las mandíbulas tienen un sistema accesorio articulado entre las piezas molar e incisiva (*lacinia mobilis*) y un caparazón que suele estar reducido y no está fusionado con los segmentos torácicos posteriores.

- Poseen un compartimento especial utilizado para albergar los huevos. En la porción basal y abdominal de los apéndices tienen unas estructuras aplanadas (oostegitos), que forman una oquedad conocida como marsupio, donde se instalan los huevos hasta que las crías alcanzan un estadio juvenil denominado larva manca, durante el cual carecen de los últimos pares de apéndices.

Isópoda y Amphipoda están entre los órdenes más diversos de los crustáceos. En la Península Ibérica, los isópodos son el grupo de crustáceos estigobios más diversos, seguido de los anfípodos. Los isópodos tienen su mayor representación en las aguas marinas (suborden Asellota), pero también tienen importantes poblaciones en agua dulce y han sido colonizadores exitosos del medio terrestre (suborden Oniscoidea); incluso se conocen especies parásitas (género *Cymothoa* Fabricius, 1787, en la cavidad bucal de algunos peces). Del mismo modo que los isópodos, la mayoría de los anfípodos también son marinos, muy extendidos por las aguas continentales y con especies terrestres. Sin embargo, en el caso de los anfípodos terrestres las especies viven más ligadas al medio acuático: pulgas de la arena (Amphipoda Talitridae) en playas arenosas (Hurley, 1968, Anastasio *et al.*, 2003).

El cuerpo de los isópodos está comprimido dorsoventralmente mientras que los anfípodos tienen un aplanamiento dorsolateral y ambos comparten una serie de características que los diferencian de otros órdenes de Crustacea:

- El número de segmentos torácicos o toracosomas fusionados con la cabeza: uno,
- el número de segmentos torácicos libres: siete,
- el número de segmentos abdominales: seis, aunque en Isópoda pueden aparecer fusionados, total o parcialmente,
- el número de apéndices torácicos: uno, transformado en piezas bucales,
- el número de apéndices abdominales: seis pares,
- la presencia de un telson en la parte final del abdomen, que en el caso de los isópodos se denomina pleotelson por estar fusionado con segmentos abdominales.

Isópodos y anfípodos comparten la misma estructura general de los apéndices a nivel de la región cefálica, siendo caracteres diferenciales (tabla 4.6.1.a) los apéndices del tronco, torácicos (pereiópodos) y abdominales (pleópodos).

Isópodos y anfípodos poseen pereiópodos adaptados para la manipulación del alimento, están subquelados y tienen función prensil y se denominan gnatópodos.

Tabla 4.6.1.a. Apéndices de la región torácico-abdominal de isópodos y anfípodos. (G= gnatópodos; P= pereiópodos; Pl= pleópodos; U= urópodos). (Extraído y modificado de Pennak, 1978).

Número de segmento	Región corporal	Isopoda	Amphipoda
1	cefalotórax	maxilípedos	maxilípedos
2	pereion	G.1	G.1
3	pereion	P.1	G.2
4-8	pereion	P.2 - P.6	P.1- P.5
9-11	pleon	Pl.1 - Pl.3	Pl.1 - Pl.3
12	pleon pleotelson	Pl.4	U.1
13	pleon pleotelson	Pl.5	U.2
14	pleotelson	U.1	U.3

Los isópodos sólo tienen un par de gnatópodos en el primer pereionito, seguido de seis pares de pereiópodos, mientras que los anfípodos tienen dos pares de gnatópodos y cinco pares de pereiópodos. En la parte posterior del tronco, los isópodos tienen cinco pares de pleópodos y un par de urópodos en el extremo terminal. Sin embargo, los anfípodos poseen tres pares de pleópodos y tres pares de urópodos.

4.6.1.1. ISOPODA Latreille, 1817

Los isópodos se caracterizan por mostrar una compresión dorso-ventral general del cuerpo. La cabeza recibe el nombre de cefalotórax debido a que está constituida por el segmento cefálico y un segmento torácico fusionado. Los siete segmentos torácicos restantes son similares, expandidos lateralmente sobre la base de los apéndices, que surgen en el plano horizontal. Los cuatro últimos segmentos y el verdadero telson están fusionados y forman una única estructura, amplia y con forma de coraza, que se denomina pleotelson, figura 4.6.1.a.

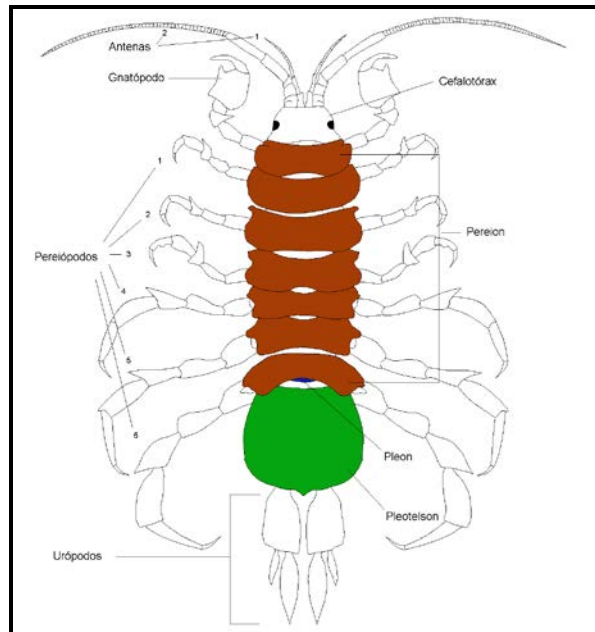


Figura 4.6.1.a. Morfología general externa de Isopoda.
(Modificado de Pennak, 1978).

Las especies epigeas muestran una coloración variable, pero las que habitan el medio subterráneo suelen ser prácticamente transparentes, blanquecinas o con tonos amarillentos. La longitud corporal generalmente se encuentra entre los 5 mm y los 2 cm, sin embargo se han encontrado ejemplares de una especie del fondo oceánico (*Bathynomus giganteus* Milne-Eduards, 1879) que alcanzan casi los 45 cm.

Cefalotórax

El primer par de antenas está situado cerca de la línea media, en el margen anterior del cefalotórax. Tienen un pedúnculo trisegmentado y un flagelo con múltiples metámeros. El segundo par de antenas es mucho mayor que el primero, se sitúa en posición más ventral y lateral y el pedúnculo está formado por cinco segmentos. Los ojos están en posición dorsal, aunque en las especies subterráneas son muy reducidos o incluso han desaparecido totalmente.

La mayoría de las especies tienen las piezas bucales en una masa compacta que a su vez está cubierta por un labro superior:

- las mandíbulas están esclerotizadas, son fuertes y dentadas, pudiendo presentar un palpo
- el primer par de maxilas tiene una porción basal y dos palpos alargados, dentados y con sedas
- el segundo par de maxilas es menor en longitud y grosor y tienen tres ramas distales
- los maxilípedos provienen de los apéndices del segmento torácico fusionado, son aplanados y tienen un palpo, ajustándose ambos al plano medio, de modo que constituyen la superficie de la masa bucal.

Pereiión

El pereiión de los isópodos está constituido por siete segmentos, cada uno de los cuales alberga un par de apéndices. El primer segmento contiene los gnatópodos, mientras que los seis restantes tienen un par de apéndices marchadores. Las coxas de estos siete pares de apéndices están totalmente fusionadas con los segmentos del cuerpo y los segmentos que constituyen las patas (basis, ischium, merus, carpus, propodus y dactylus) varían de unos apéndices a otros. Las hembras adultas tienen oostegitos laminares largos en el lado interno de la base de algunas patas delanteras. Dichos oostegitos se extienden y superponen sobre la línea media torácica, en posición ventral, dando lugar a una cámara denominada marsupio. El marsupio lo utilizan para incubar los huevos, en donde eclosionan los estadios juveniles, a los que les faltan algunos de los últimos pares de apéndices torácicos para ser idénticos a los adultos, razón por la cual reciben el nombre de “larva manca”.

Los cinco primeros pares de apéndices abdominales (pleópodos) están muy modificados y ocultos en posición ventral. El sexto par de apéndices (urópodos) están muy modificados y se proyectan posteriormente desde el extremo caudal del cuerpo. En la hembra, el primer par de pleópodos está ausente y el segundo par se reduce a un segmento. En el macho, el primer par de pleópodos es pequeño, estiliforme y bisegmentado; el segundo par de pleópodos es birrámeo y muy especializado para la cópula y la transferencia de esperma a la hembra. Los apéndices tercero, cuarto y quinto son largos, aplanados y birrámeos en ambos sexos. Los exópodos del tercer pleópodo forman un opérculo esclerotizado protector, mientras el tercer endópodo y las ramas de los pleópodos cuarto y quinto están dedicados al intercambio gaseoso y el aspecto es más grácil.

Los machos poseen un cuerpo mayor que el de las hembras, con los gnatópodos más especializados, sin oostegitos y con estructuras especializadas en los pleópodos I y II.

Las especies subterráneas destacan por una mayor longitud relativa del cuerpo, unos apéndices más gráciles y largos (patas y antenas), así como mayor abundancia de sedas o pelos táctiles.

4.6.1.2. AMPHIPODA Latreille, 1816

Los anfípodos se caracterizan por tener una compresión dorso-lateral general del cuerpo. La cabeza recibe el nombre de cefalotórax, al igual que en los isópodos, por estar integrada por el segmento cefálico y por un segmento torácico que está fusionado a ella. Al segmento cefálico lo sigue la región torácica o pereiión, con siete segmentos denominados pereiionitos y el abdomen que está subdividido en dos: pleon (tres segmentos abdominales o pleonitos) y urosoma (tres segmentos abdominales, denominados urosomitos). Por último presentan el telson, que aparece muy reducido y no se considera un verdadero segmento corporal (figura 4.6.1.b).

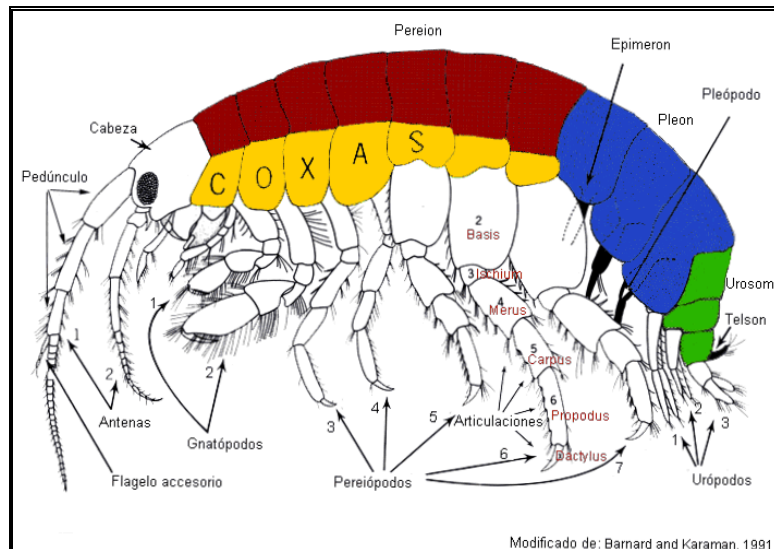


Figura 4.6.1.b. Morfología externa de Amphipoda. (Modificado de la página web del Australian Museum, <http://www.crustacea.net/> (1999-2005).

De forma análoga a lo que ocurre en los isópodos, las formas epigeas tienen una coloración variable, mientras que las formas subterráneas la han perdido prácticamente por completo, pudiendo ser casi transparentes, blanquecinos o de tonos amarillentos. El tamaño medio de las especies también es análogo, entre los 5 y los 20 mm.

Cefalotórax

Las especies epigeas tienen unos ojos muy desarrollados, compuestos y de forma variable, mientras que en las especies subterráneas presentan un grado variable de regresión, hasta la ausencia total en algunos casos.

Los dos pares de antenas se caracterizan por su gran variabilidad. El primer par de antenas tiene un pedúnculo de tres segmentos y un flagelo largo. El segundo par de antenas, además del flagelo tiene un pedúnculo de cinco segmentos.

De forma similar a los isópodos, las piezas bucales tienen una disposición compacta, cubierta por los segmentos basales de los apéndices del primer toracosoma. Las piezas bucales son:

- el labro superior
- un par de mandíbulas con función cortante y masticadora
- un par de maxilas laminares y espinosas
- un segundo par de maxilas menores y flexibles
- un par de maxilípedos, con un palpo largo

Tórax

Los siete pares de apéndices torácicos son unirrámeos y constan de siete segmentos, comenzando por el más proximal: *coxa*, *basis*, *ischium*, *merus*, *carpus*, *propodus* y *dactylus*. Las coxas se conocen como placas coxales, muy desarrolladas, aplanadas y prácticamente inmóviles, que suelen estar proyectadas en sentido ventral. A diferencia de los isópodos, éstos poseen dos pares de gnatópodos subquelados y adaptados a la manipulación, con función prensil. El tercero y cuarto par de pereiópodos son menos especializados y suelen mostrarse plegados hacia la parte anterior (hacia el cefalotórax), mientras los tres siguientes están plegados hacia la parte posterior (figura 4.6.1.a).

Poseen branquias coxales con forma de saco oval y aplanado y se extienden por debajo de la superficie interna de la placa coxal, en el extremo posterior y aparecen en los apéndices, segundo a sexto par. En algunas ocasiones pueden tener pequeñas branquias accesorias en los esternitos (parte abdominal de los somitos) de los segmentos torácicos.

Abdomen

El abdomen de los anfípodos lo forman seis segmentos que constituyen a su vez dos regiones:

- 1- Una formada por los tres primeros segmentos abdominales que constituyen el pleon. Cada pleonito tiene un par de pleópodos, que constan de un pedúnculo basal y dos ramas flexibles multi-segmentadas.
- 2- Otra formada por los tres últimos segmentos donde están los urópodos, que no tienen movilidad, están proyectados hacia la parte posterior y se disponen próximos entre sí.

El sexo se diferencia bien en los adultos por la presencia de las placas incubatrices en las hembras, también denominadas oostegitos, que se desarrollan en la superficie interna de las coxas (normalmente en los pares de apéndices segundo a quinto). Los gnatópodos suelen ser mayores en los machos que en las hembras.

4.6.2. Preparación de los ejemplares de isópodos y anfípodos para su estudio taxonómico

Previo al estudio taxonómico específico de isópodos y anfípodos se han realizado las siguientes tareas sobre las muestras, para facilitar el proceso siguiente y permitir el seguimiento de los individuos:

- segregación de los ejemplares epigeos (individuos oculados y con pigmentación corporal intensa), dejando para un examen posterior sólo la fauna subterránea (microoculados y anoftalmos, con pigmentación escasa o inapreciable)
- adscripción a sus familias correspondientes, que se llevó a cabo mediante observación de la morfología externa de aquellos caracteres identificadores del nivel de familia

(morfología general, presencia, número y disposición de ocelos, longitud de apéndices y estructuras accesorias)

Antes de la preparación de los individuos para su estudio taxonómico es necesario llevar a cabo un proceso previo:

- 1- Aclarado o transparentación de los ejemplares para poder observar todas las estructuras morfológicas externas con valor taxonómico, ya que la cutícula de isópodos y anfípodos tiene una opacidad variable debida a una serie de pigmentos que van asociados a la hemolinfa y a la cutícula. Para ello se digieren los ejemplares mediante una inmersión en ácido láctico, a 60 °C, durante un tiempo variable de 15 a 60 minutos. El tiempo de inmersión se regula en función del grosor de la cutícula, que varía según el estadio de desarrollo y la especie. Acto seguido se pasan los individuos a una solución de alcohol al 70% para detener el proceso de digestión.
- 2- Coloración: para conseguir un mayor contraste, se tiñen los ejemplares con una solución de cristales de fenol, ácido láctico y etanol (100 g : 100 ml : 200 ml). Esta solución se aplica durante un periodo medio de 2 minutos, ajustando el tiempo de tinción en función del tamaño, entre 1 minuto, los de menor tamaño, y hasta 3 ó 4 minutos, para aquellos que tienen un mayor volumen corporal.

Una vez se ha digerido el cuerpo y están teñidas las cutículas, el material está listo para realizar la disección de los ejemplares y su montaje para el estudio microscópico que permitirá las determinaciones específicas.

Es necesario estudiar los apéndices de la región cefálica, del tórax y del abdomen. La manipulación de la fauna se ha realizado bajo una lupa binocular Olympus, con un objetivo 10X y un zoom 0,6-8X. Cada uno de los individuos aislados de una muestra se dispuso sobre un vidrio de reloj de 5 cm de diámetro, en la cual se lleva a cabo la disección, utilizando pinzas entomológicas de punta fina y agujas enmangadas, estas últimas fabricadas artesanalmente con alfileres entomológicos de distintos grosores, según requiere la fauna, en función del tamaño de los ejemplares.

4.6.3. Metodología taxonómica en Isopoda

Se separaron los ejemplares por familias, observando a la lupa binocular diferentes caracteres de la morfología externa. Las dos familias que se encuentran en el norte de la Península Ibérica, Asellidae y Stenasellidae, tienen el pereion dividido en siete pereionitos de dimensiones variables (tabla 4.6.3.a). El pleon también lo tienen dividido en 2 segmentos. Los pleonitos de los asélidos son muy reducidos de anchura (figura 4.6.1.a) y longitud, en algunas ocasiones no se aprecian sin disección. Hay una excepción: *Synasellus notenboomi* Henry y Magniez, 1987 (Isopoda Asellidae),

que tiene estos dos pleonitos tan anchos y patentes como los pereionitos, pero carece de palpo mandibular.

Una vez realizada esta primera identificación y con los ejemplares transparentados, se puede iniciar el estudio de los géneros, confirmando que no se hubieran separado asélidos como ejemplares de stenasélidos por error, como puede ocurrir con *Synasellus notenboomi* mediante una simple observación con la lupa, sin disección.

Tabla 4.6.3.a. Caracteres identificativos de familias y géneros de Isopoda del norte de la Península Ibérica (clave realizada por D. Jaume, com. pers.).

Familia	Pleonitos I y II	Palpo mandibular	Género	Pleópodo II del macho
Stenasellidae	Muy patentes	presente	<i>Stenasellus</i>	
Asellidae	Reducidos	presente	<i>Proasellus</i>	Endópodo sin protuberancia, cánula poco desarrollada
			<i>Bragasellus</i>	Endópodo con protuberancia, cánula quitinosa terminal
	Muy patentes	ausente	<i>Synasellus</i>	

Para la identificación de los géneros hay que continuar con el examen del palpo mandibular. Si los pleonitos I y II son patentes y no poseen palpo mandibular, debe de tratarse de *Synasellus notenboomi*, mientras que si poseen palpo mandibular debe de tratarse del único género de la familia Stenasellidae encontrado en la Península Ibérica (*Stenasellus*). También se debe diseccionar el pleópodo II del macho, atendiendo a la morfología del endópodo u órgano copulador: si éste posee una protuberancia y una cánula poco desarrollada en posición terminal se trata de un ejemplar del género *Proasellus* (Dudich, 1925), o si posee una protuberancia proximal externa y una cánula quitinosa terminal nos encontramos ante un ejemplar de *Bragasellus* (Henry y Magniez, 1968) (tabla 4.6.3.a).

Para el estudio específico se han tomado como referencia los trabajos de Henry y Magniez en los que describen los caracteres diagnósticos usados para las especies acuáticas halladas en el norte de la Península Ibérica (Henry y Magniez, 1987 y 1988; Magniez, 1968 y 1999). Los pleópodos IV y V a los que se hace referencia para la identificación pertenecen al pleotelson, ya que en este grupo los pleonitos III, IV y V se han fusionado al telson, de modo que forman una única estructura con varios pares de apéndices.

4.6.4. Metodología taxonómica en Amphipoda

La primera fase consiste en identificar las familias y los géneros existentes en el material aislado a nivel de orden. Para ello se han confeccionado unas claves de identificación basadas en las publicaciones que describen esta fauna de la Península Ibérica (Notenboom, 1986, 1987 y 1990; Notenboom y Meijers, 1985; Pretus y Sabater, 1990). Es necesario observar diversas estructuras

corporales, para lo que hay que realizar una disección completa de los individuos y observar los siguientes caracteres:

- los gnatópodos I y II (los dos primeros pares de apéndices del pereion), muestran un ensanche de forma característica que varía entre grupos de anfípodos

Tabla 4.6.4.a. Caracteres identificativos de familias y géneros de Amphipoda del norte de la Península Ibérica (clave realizada por D. Jaume, com. pers.).

Forma gnatópodo 2	Familia	Exópodo 3 ^{er} urópodo	Géneros
Trapezoidal (G2>G1)	Pseudoniphargidae	Unisegmentado	<i>Pseudoniphargus</i>
Triangular (G2=G1)	Niphargidae	Unisegmentado	<i>Haploginglymus</i>
Triangular (G2=G1)	Niphargidae	Bisegmentado	<i>Niphargus</i>

- los urópodos, o apéndices de los somitos abdominales terminales: el tipo de segmentación del tercer urópodo, uni- o bisegmentado, y la longitud relativa de éstos tienen gran importancia taxonómica para diferenciar los géneros (tabla 4.6.4.a)
- Para identificar las especies se estudian las estructuras anexas (sedas, espinas, uñas, oostegitos, etc.), la propia morfología y longitud relativa de los segmentos de los apéndices y la morfología del telson, con una escotadura variable. Este carácter, la morfología del extremo terminal del telson, es importante para la identificación de las especies de estos géneros, si es romo, excavado o con una hendidura profunda que puede llegar a separarlo en dos piezas. Se van diseccionando los apéndices según se requiera para la determinación, de forma que no queden ocultos bajo otros apéndices, placas coxales u otras estructuras que puedan interferir en la interpretación de lo observado.

4.6.5. Taxonomía molecular. Metodología

Actualmente existe muy poca experiencia en el manejo de material tan pequeño e inestable procedente del medio subterráneo para realizar estudios moleculares. En los crustáceos subterráneos, las técnicas de extracción de ADN están poco avanzadas y no se han desarrollado buenos protocolos para la extracción, purificación y amplificación de su material genético. Dada esta circunstancia, se ha invertido mucho tiempo en adecuar los métodos habituales de extracción y amplificación de determinados fragmentos de ADN mitocondrial (16S, 18S, citocromo B, etc.).

4.6.5.1. Conservación y almacenamiento de los individuos para análisis molecular

La fauna que se va a someter a análisis molecular se aísla de la muestra en vivo y se conserva de forma individual, en tubos Eppendorf estériles, para evitar su contaminación. De este modo se

almacenan en congeladores a una temperatura de -20 °C. El material fijado con formol es más difícil de trabajar ya que el ADN resulta fragmentando en trozos muy pequeños y lo hemos descartado para no añadir mayores dificultades a un proceso ya de por sí muy difícil.

4.6.5.2. Extracción y secuenciación del material genético

Para la extracción del material genético se ha aplicado una técnica de extracción en Chelex, siguiendo los protocolos descritos en Walsh *et al.*, 1991. Se ha amplificado una región del gen COI con el *primer* C1-J-1718 (5'-GGAGGATTGGAATTGATTAGTTCC- 3') y HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3') (Folmer *et al.*, 1994, Simon *et al.*, 1994) y con ADN polimerasa AmpliTaq Gold® (Applied Biosystems).

El producto de la PCR se ha purificado mediante el sistema ExoSAP-IT (USB Amersham Buckinghamshire, UK). Posteriormente, se ha secuenciado con un kit BigDye terminador v3.1 (Applied Biosystems Inc., Foster City, USA) que secuencia en ambas direcciones.

4.7. Metodología estadística

4.7.1. Análisis de los datos físico-químicos

Para hacer un análisis descriptivo de los datos se han calculado la media, la desviación típica y el coeficiente de variación de las diferentes variables medidas.

En el análisis de los datos físico-químicos se han considerado los resultados obtenidos en las diferentes escalas de estudio. Para la búsqueda de los patrones espacio-temporales se han seleccionado los datos medidos en el campo y en el laboratorio de 39 muestras del recorrido habitual. Estas 39 muestras corresponden a 6 ubicaciones de muestreo: OG-07, OG-08, OG-09, OG-10, OG-12 y OG-14 y 8 fechas diferentes repartidas entre los años 2002 y 2003, distribuidas según la tabla 4.7.1.a. La elección de estas muestras se debe a que son las localizaciones que se han mantenido con agua durante más tiempo dentro del recorrido habitual en el periodo en que el muestreo ha sido más intensivo: entre agosto de 2002 y septiembre de 2003. De este modo se ha contado con un número de muestras que resumen un ciclo anual y un número de réplicas razonable para realizar análisis estadísticos.

Además de las medidas tradicionales, se han estimado los índices de saturación de aragonito, calcita y anhídrido carbónico (pCO₂) de cada una de las muestras con el programa PHRQPITZ v.0.2 (1990), una modificación de la versión original de Plummer *et al.*, 1988. En el cálculo de solubilidad y saturación se han tenido en cuenta los valores de pH y de temperatura medidos durante las exploraciones subterráneas. Con este índice de saturación de anhídrido carbónico ya se puede realizar una primera caracterización química, atendiendo a una escala temporal o a una escala espacial.

Tabla 4.7.1.a. Puntos de muestreo considerados para el análisis de variabilidad de la composición físico-química del agua a lo largo de un ciclo anual.

Punto	Nombre	Localización	30.08.2002	22.11.2002	25.01.2003	08.03.2003	04.04.2003	10.05.2003	07.06.2003	27.09.2003
7	Gour Hojas 1	Gal. Principal			1	1	1	1	1	
8	Gour Hojas 2	Gal. Principal		1	1	1	1	1	1	
9	Gran Gour	Sala Edelweiss	1	1	1	1	1	1	1	1
10	Gour Hojas 3	Gal. Principal		1	1	1	1	1	1	
12	Charco Italianos	Gal. Italianos			1	1	1	1	1	1
14	Granja Ortiz	Entrada Palomera	1	1	1	1	1	1	1	1

Los datos físico-químicos de campo y laboratorio, tanto del recorrido habitual de Palomera, como el recorrido ocasional de Palomera y del *entorno*, se han analizado utilizando el programa para datos multivariantes PRIMER v.6 (Clarke y Gorley, 2001). Previo al análisis se ha aplicado una transformación logarítmica sobre todas las variables ambientales, excepto el pH y la temperatura, mediante la siguiente transformación:

$$y^t = \log (1 + y)$$

(Donde “y^t” es el valor de la variable transformada e “y” la variable original)

A continuación se ha realizado una estandarización de los datos, convirtiéndolos a una escala entre 0 y 1, con la función *Standardise* de Primer, que aplica la fórmula:

$$VE = (X_i / \text{Max})$$

donde “VE” es el valor estandarizado, “X_i” es cada uno de los valores de la variable considerada y “Max” es el valor máximo de dicha variable.

4.7.1.1. Análisis de agrupamiento (UPGMA)

Utilizando la matriz de distancias euclídeas sobre las variables transformadas y normalizadas, se ha calculado el agrupamiento jerárquico de las muestras mediante el método de agrupamiento de pares no ponderados (Unweighted pair-group average) (Pielou, 1984, Guisande *et al.*, 2006).

Además, se ha aplicado el análisis SIMPROF que incorpora la versión 6 de Primer, gracias al cual se muestran los agrupamientos que son estadísticamente significativos. El tipo de representación utilizada es el árbol de agrupamiento jerárquico, de fácil lectura y con la que se consigue una primera aproximación a los patrones espacio-temporales de los datos ambientales.

4.7.1.2. Análisis en componentes principales (PCA)

Los datos seleccionados para estos análisis pertenecen a las 39 muestras del recorrido habitual, como se ha indicado anteriormente y queda recogido en la tabla 4.7.1.a. Los valores se han transformado y estandarizado según se ha hecho anteriormente. La estandarización iguala la varianza de las muestras a lo largo de las variables, y la matriz se convierte en una de correlación. Con el programa Primer v.6, a partir de esta matriz de correlaciones, se ha realizado el análisis en componentes principales (PCA) (Pielou, 1984, Guisande *et al.*, 2006).

4.7.1.3. Ordenación multidimensional no paramétrica (NMDS)

Para el análisis de ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS) se utiliza la matriz de similitudes, obtenida también con el programa Primer. Ésta se ha calculado partiendo de los datos sometidos a transformación logarítmica (excepto pH y temperatura, como se ha dicho previamente) y estandarizados. La transformación de los datos y la estandarización se llevan a cabo con la finalidad de obtener un análisis más robusto, con una minimización de los efectos derivados de diferentes escalas en las variables medidas.

4.7.1.4. Análisis de similitud (ANOSIM)

Para comprobar la significación estadística de las relaciones de los grupos formados se utiliza este análisis no paramétrico de similitudes, ANOSIM del que dispone PRIMER v.6. Se ha realizado un análisis cruzado de dos vías con la matriz de similitudes. Para observar la distribución espacio-temporal de las muestras se han tomado dos factores: las localizaciones de muestreo (OG-07, OG-08, OG-09, OG-10, OG-12 y OG-14) y las cuatro estaciones del año (p: primavera, v: verano, o: otoño e i: invierno) asignadas a cada muestra según su orden de recolección. Este análisis es frecuente en los estudios ecológicos (Clarke y Green, 1988; Chapman y Underwood, 1999). La hipótesis nula asume que no hay diferencias entre las muestras de diferentes hábitat, lo que se analiza mediante el cálculo del índice “R”. Este índice enfrenta la similitud observada entre los diferentes lugares y dentro de cada lugar mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{\bar{r}_B - \bar{r}_W}{\frac{1}{2} M}$$

En la cual:

\bar{r}_B es la media de las similitudes entre todos los pares de muestras de diferentes lugares,

\bar{r}_W es la media de las similitudes entre las muestras de un mismo lugar y $M = n(n-1)/2$, donde n es el número total de muestras consideradas.

Cuanto más se aproxima a 1 el valor de R, mayor es la similitud entre las muestras dentro de cada lugar que con muestras de otros lugares.

4.7.2. Análisis de los datos faunísticos

Las muestras obtenidas en todos los puntos de muestreo y en todas las fechas son cualitativas lo que implica el uso de estadística no paramétrica. Para el análisis estadístico de patrones se ha utilizado una matriz de presencia o ausencia de los grupos faunísticos en los diferentes puntos y fechas de muestreo.

Se han sometido a análisis los datos de las muestras de los diferentes bloques de estudio: las del recorrido habitual de Palomera (OG-1, OG-2, OG-7, OG-8, OG-9, OG-10, OG-12, OG-14 y OG-16), que son aquellos de los cuales se cuenta con más réplicas, el recorrido ocasional de Palomera (puntos con numeración OG-17 a OG-54, lago Dolencias, sumidero del Guareña y el curso subterráneo del río Guareña) y las muestras tomadas en el *entorno*. Se aplicó el índice de semejanza de Bray-Curtis a la matriz, para obtener el agrupamiento de los puntos en función de la fauna que albergan.

Al igual que en el caso de los datos físico-químicos, sobre los datos de fauna se han realizado los siguientes análisis: sobre la matriz de correlación se llevó a cabo un análisis en componentes principales (PCA); luego, una ordenación multidimensional no paramétrica (NMDS) a partir de las matrices de distancia y semejanza. Para determinar la aleatoriedad de la distribución de la fauna se ha aplicado el análisis no paramétrico de semejanza (ANOSIM). La hipótesis nula de este análisis asume que no hay diferencias entre las muestras de los diferentes hábitat. Este hecho se comprueba calculando el índice “R” que compara las similitudes entre los diferentes puntos de muestreo, que hace referencia a la **variabilidad espacial**, y dentro de cada uno de los puntos, entre sus propias muestras, que indica la **variabilidad temporal**. El índice R se calcula mediante la fórmula:

$$R = \frac{(\bar{r}_B - \bar{r}_W)}{(\frac{1}{2})M}$$

Donde:

\bar{r}_B es la media ponderada de las similitudes entre todos los pares de sitios,

\bar{r}_w es la media de todas las similitudes entre muestras, dentro de cada sitio y $M = n(n-1)/2$, y n es el número total de muestras.

Cuanto más se aproxima el valor de R a 1, más parecidas son las muestras dentro de cada sitio y más diferentes respecto al resto de muestras de los demás puntos. Este índice se recalculó mediante permutaciones. Con el valor R observado en la distribución de las permutaciones se determinó el nivel de significación.

Para estimar el nivel de conocimiento que se ha alcanzado con la recogida y el estudio de todo este conjunto de muestras, se han calculado las curvas de acumulación de especies en los diferentes bloques de muestras, sobre los niveles de aproximación al Complejo kárstico que se han comentado al principio del apartado:

- I. recorrido habitual de Palomera,
- II. puntos de muestreo ocasional de Palomera,
- III. entorno de Palomera.

4.7.2.1. Análisis de diversidad. Curvas de saturación de especies

Se han realizado estimaciones de la biodiversidad que puede contener el karst de Ojo Guareña y se ha comparado con el número total de especies colectadas. Se ha representado el índice S para ver la evolución en la aparición de nuevas especies y se ha calculado el índice de Jackknife 2, de segundo orden (Smith y Van Belle, 1984). El índice de Jackknife 2 es un análisis no paramétrico que estima el total de especies colectadas y no colectadas en función de la presencia o ausencia de las diferentes entidades y tiene en cuenta la rareza o singularidad, considerando aquellas especies que aparecen exactamente en una sola y en dos muestras del conjunto analizado. El cálculo del índice de Jackknife de segundo grado se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$Jackknife\ 2 = S + \frac{L(2m-3)}{m} - \frac{M(m-2)^2}{m(m-1)}$$

Donde:

S = número total de especies,
L = número de especies que aparecen en una muestra,
M = número de especies que aparecen exactamente en dos muestras,
m = número de muestras consideradas.

Cuanto mayor es la singularidad de las especies, más aumenta la pendiente de crecimiento y el total de especies colectadas y mayor es la diferencia entre el índice de riqueza S y el índice de Jackknife 2.

4.7.3. Análisis de conjunto

Los cálculos se han hecho con la función BIOENV del programa PRIMER. Con ella se comparan la matriz de semejanza de los datos faunísticos y la matriz de distancias de los datos ambientales. El programa toma las mejores variables explicativas, de modo que optimiza la correlación entre ellas (Clarke y Warwick, 2001).

Para la selección de las muestras que se iban a estudiar en el análisis conjunto de fauna y físico-química se han utilizado aquellos que coinciden con los del apartado de análisis de los resultados físico-químicos, puesto que es la serie temporal que se tiene más completa. Con estos datos se cubre un ciclo anual completo, pudiendo observar cambios estacionales. Así pues, los puntos seleccionados para este estudio son: OG-7 (Gour de las Hojas 1), OG-8 (Gour de las Hojas 2), OG-9 (Sala Edelweiss de la Galería Principal), OG-10 (Gour de las Hojas), OG-12 (Galería de Italianos) y OG-14 (Granja de Ortiz), del recorrido habitual (tabla 4.7.1.a).

También se ha realizado el mismo cálculo con todas las muestras del *entorno* de las cuales se disponían de datos físico-químicos y faunísticos, con la finalidad de encontrar una variabilidad que puede existir entre los diferentes hábitat de un grupo de variables y otro, además de su correlación.

Resultados

5. Resultados

El estudio de los datos obtenidos se realiza en tres niveles de detalle diferentes, en el orden en que se ha expuesto en el apartado de los materiales. Así, el primer nivel estudiado es el que muestra mayor detalle, un análisis a microescala en el epikarst que comprende las diez localizaciones de muestreo habitual, tabla 4.1.1.1.a y figura 4.1.1.1.a. Están situados en la cavidad principal o cueva Palomera y son aquellos hábitat con el siguiente código alfanumérico: OG, iniciales de Ojo Guareña, y una numeración comprendida entre 1 y 16. El segundo bloque de resultados continúa siendo un estudio a microescala dentro del karst, aunque sobre una extensión un poco más amplia dentro de la cueva principal, tabla 4.1.1.2.a y figura 4.1.1.2.a, que consta de otras veintitrés ubicaciones de muestreo. Primero se analizan de forma independiente y a continuación conjuntamente con las muestras del *recorrido habitual*. Por último, el tercer grupo de datos corresponde con los obtenidos durante el estudio del entorno de la cavidad principal: cuevas, surgencias, medio intersticial de los ríos y pozos pertenecientes al complejo kárstico de Ojo Guareña (tablas 4.1.2.1.a y b, 4.1.2.2.a, 4.1.2.3.a y 4.1.2.4.a).

Para facilitar el seguimiento y un contraste más sencillo de los resultados, se resumen en la tabla 5.a el número de localizaciones por bloque estudiado en el Monumento natural, así como el recuento de muestras tomadas en cada uno de ellos. A continuación se procede a detallar los resultados de los análisis realizados sobre dichas muestras.

Tabla 5.a. Relación de muestras colectadas en cada uno de los bloques considerados en el Monumento Natural de Ojo Guareña: Palomera (recorrido habitual y recorrido ocasional) y *entorno* (cuevas, surgencias, hiporréico y freático), destinadas al estudio físico-químico y faunístico (entre paréntesis: número de localizaciones diferentes en cada bloque).

	PALOMERA		ENTORNO				TOTAL (79)
	Recorrido habitual (10)	Recorrido ocasional (23)	Cuevas (12)	Surgencias (12)	Hiporréico (12)	Freático (10)	
F.química	71	37	12	12	12	4	148
Biología	129	46	25	16	15	10	241

5.1. Resultados de los análisis físico-químicos

Primero se puede ver un balance del trabajo realizado, con la descriptiva general de los datos obtenidos con la revisión de las muestras, antes de abordar los datos mediante un análisis estadístico multivariante. En este apartado se ofrecen datos parciales vinculados a las estaciones de muestreo para

facilitar el seguimiento de las explicaciones, mientras que para la consulta de la información completa se debe acudir a los apéndices 1 y 2.

5.1.1. Balance del muestreo físico-químico

5.1.1.1. Descriptiva de los resultados físico-químicos en el *recorrido habitual* en Palomera

En las localizaciones de muestreo del *recorrido habitual* se pueden diferenciar dos tipos de hábitat, charco y *gour*. Ambos pueden recargarse con agua de goteos procedente del epikarst (lo más frecuente en los *gours*), agua de escorrentía o con el ascenso del nivel freático. La naturaleza del lecho que alberga los charcos muestreados en la cavidad principal (incluidas la cueva de Palomera y la cueva de La Torcona) queda reflejada en las tablas 4.1.1.1.a y 4.1.1.2.a. En estas tablas también aparece el carácter temporal o permanente de estas formaciones acuíferas a lo largo del ciclo anual, el tipo de balsa que las contiene (en relación con su morfogénesis) y la textura del sustrato que tapiza el fondo de los charcos.

En total, se han realizado 148 análisis de la composición físico-química del agua sobre las muestras agrupadas en este bloque y se detallan en la tabla 5.a y en el apéndice 1.

Como primera aproximación a la composición del agua, se comparan los datos obtenidos para los diferentes puntos de muestreo. Debido a la variabilidad natural de las condiciones físico-químicas y la disponibilidad de referencias de múltiples fechas a lo largo de tres años (2002-2004), se han calculado la media, la desviación típica y el coeficiente de variación de los parámetros en los que se aprecia mayor fluctuación (tabla 5.1.1.1.a). Considerando de forma aislada las localizaciones, en esta tabla se observa que existe una variación pequeña en cada uno de los lugares. En algunos parámetros hay una fluctuación espacial, como es el caso de:

- la conductividad, con valores máximos superiores a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en OG-01, OG-08 y OG-14 y el mínimo en OG-09, 212 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y
- el contenido de anión nitrato, menor que 1 ppm en OG-01 y OG-15 y más de 3 ppm en OG-14 y OG-16.

Siguiendo el orden en que aparecen las variables físico-químicas en la tabla 5.1.1.1.a, comenzando con aquellas determinadas *in situ*, se puede observar lo siguiente:

- El pH medio de los hábitat es ligeramente alcalino y varía entre 7,23 y 7,86, con desviaciones típicas menores que 0,5. El CV del pH en las diferentes localizaciones es muy reducido, menor que 0,1 en todos los casos. El mayor CV del pH es 0,089, correspondiente a las muestras de OG-02. Se detectó un pH menor que 7 en dos localizaciones: en el Museo de Cera (punto OG-01) durante el muestreo de enero de 2004 (pH = 6,81) y en la Galería de Italianos (OG-12) en dos muestreos, enero de 2003 (pH = 6,6) y septiembre de 2003 (pH = 6,9). Por tanto, se observa que el pH es muy estable, sin valores extremos y con una ligera tendencia alcalina, normal en áreas de este tipo de roca caliza.

- El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua es alto, sin llegar a una saturación completa en los valores medios, ni en los absolutos. Todas las localizaciones tienen un CV bajo, menor que 0,15, con un valor máximo de 0,135 en OG-01 y un mínimo de 0,03 en OG-02, lo que indica que no se dan cambios drásticos en la concentración de oxígeno.
- En cuanto a la temperatura, tiene una variación espacial mayor que la de otros factores. La media de las temperaturas tomadas no alcanza los 6 °C en OG-16, Sala del Enterramiento de la Galería Principal, ni en OG-12, Galería de Italianos, con una media de 5,7 °C y 5,9 °C respectivamente. Sin embargo, en Museo de Cera (OG-01) la temperatura media se aproxima a 11 °C, concretamente es de 10,7 °C.

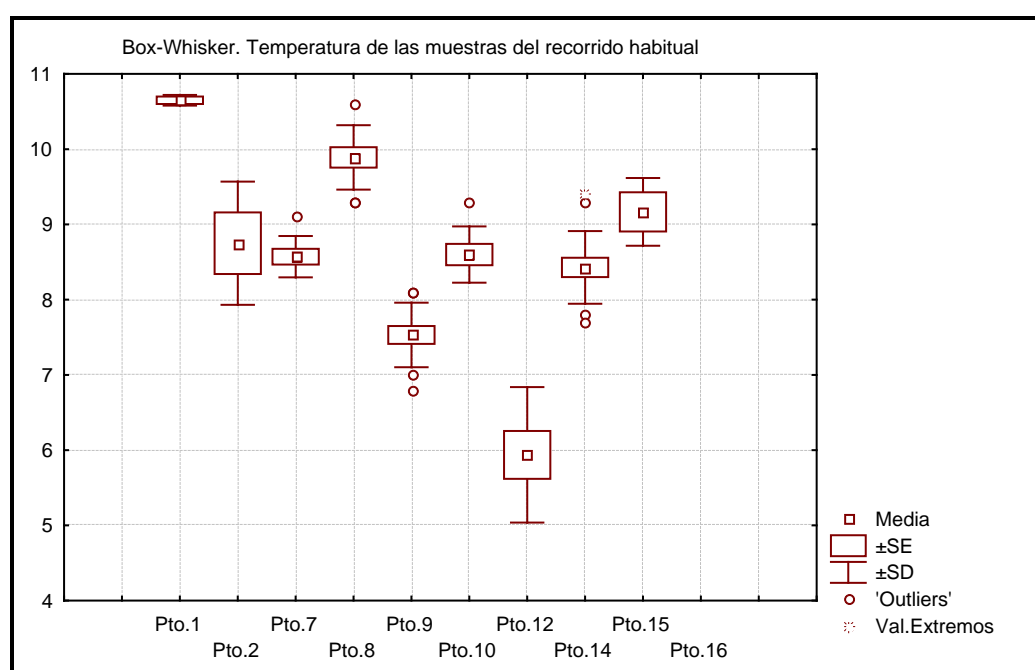


Figura 5.1.1.1.a. Diagrama de Box-Whisker con los datos de temperatura de las muestras del *recorrido habitual*.

En el diagrama de Box-Whisker de la figura 5.1.1.1.a se aprecian con claridad las diferencias de temperatura entre las distintas localizaciones del *recorrido habitual*. El hábitat OG-16 carece de representación debido a que sólo se ha podido obtener un dato de temperatura. Resalta el conjunto de muestras de OG-12, Galería de Italianos, con las temperaturas media y mínima menores en relación con el resto de las estaciones de muestreo. En el otro extremo, la temperatura más elevada medida en el *recorrido habitual* le corresponde al agua de OG-01, único caso en que la media superaba los 10 °C, exactamente 10,7 °C, figura 5.1.1.1.a. Estas diferencias térmicas señaladas se han observado en una amplitud térmica reducida: la variabilidad durante este periodo bianual es menor que 2,5 °C en todas estas localizaciones y el CV en cada hábitat es bajo, menor que 0,1, con la excepción de OG-12, con un CV = 0,15.

Tabla 5.1.1.1.a. Media (\bar{x}), desviación típica (s) y coeficiente de variación (CV) de las variables físico-químicas en los puntos de muestreo habitual.

Punto		T ^a °C	pH	O ₂ %sat.	Cond. μS/cm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm	HPO ₄ ²⁻ ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	F ⁻ ppm	Form. ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	K ⁺ ppm	Na ⁺ ppm
OG-1	\bar{x}	10.7	7.23	81.95	485	4.34	2.64	0.17	0	233.85	0.17	0	72.8	1.18	0.47	2.64
	s	0.07	0.49	11.102	44.978	0.97	2.35	0.29	0	142.17	0.29	0	43	0.19	0.05	0.25
	CV	0.01	0.07	0.1355	0.0927	0.22	0.89	1.73	0	0.608	1.73	0	0.59	0.16	0.11	0.09
OG-2	\bar{x}	8.75	7.56	81.72	259.67	4.49	2.91	1.11	0	195.27	0	0	59.6	1.49	0.68	2.43
	s	0.82	0.68	3.1188	50.817	0.66	2.63	0.96	0	37.377	0	0	17.9	0.27	0.55	0.09
	CV	0.09	0.09	0.0382	0.1957	0.15	0.9	0.87	0	0.1914	0	0	0.3	0.18	0.81	0.04
OG-7	\bar{x}	8.57	7.76	72.214	271.88	5.05	5.12	1.59	0	190.17	0	0	59.7	1.59	0.98	2.45
	s	0.28	0.35	7.5693	65.169	1.47	1.41	0.73	0	79.061	0.01	0	25.5	0.29	0.58	0.44
	CV	0.03	0.04	0.1048	0.2397	0.29	0.28	0.46	0	0.4157	2.83	2.65	0.43	0.18	0.59	0.18
OG-8	\bar{x}	9.89	7.83	79.56	448	4.58	4.24	1.02	0	256.54	0	0.11	78.8	1.69	0.5	2.57
	s	0.43	0.28	9.2108	59.418	1.34	1.81	0.85	0	80.236	0.01	0.33	26.6	0.31	0.47	0.54
	CV	0.04	0.04	0.1158	0.1326	0.29	0.43	0.83	0	0.3128	3	2.93	0.34	0.18	0.92	0.21
OG-9	\bar{x}	7.53	7.73	78.431	319.15	6.61	4.7	3.86	0	186.23	0	0	60.7	1.83	0.37	2.06
	s	0.43	0.36	6.438	50.654	6.11	0.87	4.07	0	47.643	0.01	0.01	20.1	0.39	0.54	0.34
	CV	0.06	0.05	0.0821	0.1587	0.92	0.19	1.05	0	0.2558	3.46	3.32	0.33	0.21	1.47	0.16
OG-10	\bar{x}	8.6	7.72	78.271	376.88	4.69	4.76	1.05	0	234.76	0	0.01	72.8	1.81	0.23	2.86
	s	0.37	0.3	6.3242	56.319	0.87	0.38	0.33	0	59.543	0	0.01	16.2	0.44	0.16	0.8
	CV	0.04	0.04	0.0808	0.1494	0.19	0.08	0.31	0	0.2536	0	2.83	0.22	0.24	0.71	0.28
OG-12	\bar{x}	5.94	7.28	80.763	211.89	4.77	5.45	1.64	0	133.71	0	0.01	41.1	2.4	1.68	2.46
	s	0.9	0.4	6.8132	75.816	1.34	1.42	0.77	0	60.724	0	0.02	19.1	1.27	0.32	0.5
	CV	0.15	0.06	0.0844	0.3578	0.28	0.26	0.47	0	0.4542	0	3	0.46	0.53	0.19	0.2
OG-14	\bar{x}	8.43	7.86	74.811	410.43	6.26	7.12	0.88	0	240.21	0.01	0.08	74.2	2.62	0.63	2.59
	s	0.48	0.45	8.5832	111.36	4.32	4.48	0.7	0	71.675	0.03	0.28	22.2	0.56	0.45	0.43
	CV	0.06	0.06	0.1147	0.2713	0.69	0.63	0.79	0	0.2984	2.01	3.39	0.3	0.21	0.71	0.16
OG-15	\bar{x}	9.17	7.83	78.5	394.75	3.57	4.78	1.69	0	255.68	0.09	0	83	1.63	0.34	2.18
	s	0.45	0.2	12.806	42.225	0.15	1.85	1.31	0	39.169	0.1	0	8.62	0.26	0.08	0.33
	CV	0.05	0.03	0.1631	0.107	0.04	0.39	0.78	0	0.1532	1.16	0	0.1	0.16	0.24	0.15
OG-16	\bar{x}	5.7	7.25	78.2	372	6.07	2.5	3.79	0	270.55	0.13	0	92.2	1.46	0.25	2.44
	s	0	0.07	0	9.8995	0.66	3.54	1.15	0	20.435	0.18	0	14.6	0.08	0.04	0.15
	CV	0	0.01	0	0.0266	0.11	1.41	0.3	0	0.0755	1.41	0	0.16	0.06	0.14	0.06

Correspondencia de los códigos con las localizaciones de muestreo:

OG-01: Altar en el Museo de Cera; OG-02: Gours Maccaroni; OG-7: Charco en Gours de las Hojas; OG-8: Goteo en Gours de las Hojas; OG-09: Gran gour en Sala Edelweiss (Galería Principal); OG-10: charco en Gours de las Hojas; OG-12: Charco en Galería de Italianos; OG-14: charco en la Granja de Ortiz (entrada Palomera); OG-15: Gours en Gours de las Hojas; OG-16: Sala del Enterramiento (Galería Principal); OG-17: Sima Italianos; OG-18: Galería Principal; OG-19: Sala de la Fuente; OG-20: Nuevo Paso; OG-21: Los Lagos (1^{er} lago); OG-22: Los Lagos (lagos sucesivos); OG-30: Galería de Italianos 1; OG-31: Galería de Italianos 2; OG-32: Galería de Italianos 3; OG-33: Laberinto Vitoria; OG-34: Galería del Aburrimiento 1; OG-35: Galería del Aburrimiento 2; OG-36: Lago de los Cangrejos; OG-37: Lateral en Italianos; OG-38: Galería de Italianos; OG-39 a OG-47: Nueva entrada a la Torcona en Villallana; OG-50 a OG-54: Paso al nivel inferior desde la Sala del Cacique.

El charco de Galería Italianos, OG-12, además de ser el que presenta la temperatura media más baja, también destaca por estar entre los que tienen mayor variabilidad temporal en el *recorrido habitual*, una amplitud térmica de 2,3 °C y $s=0,9$.

- La conductividad eléctrica, que depende de varios factores (especies químicas presentes y su concentración en disolución, además de sus propiedades electroquímicas), no fluctúa mucho en el plano temporal. Las ubicaciones en las que se da una mayor fluctuación temporal, presentan un CV mayor que 0,25: OG-12, CV=0,35, y OG-14, CV=0,27. Los hábitat OG-01, OG-08 y OG-10 son aquellos que presentan mayor estabilidad en la conductividad, con un CV menor que 0,15.
- En cuanto a los aniones, no presentan valores extremos de concentración. Con una variabilidad escasa del conjunto y sólo de forma puntual, como la concentración de nitratos (NO_3^-) y de cloro (Cl^-), con CV superior a 1, cuyas medias y desviaciones típicas se ven incrementadas por una muestra del *gour* de OG-09, tomada el 22 de noviembre de 2002. Esta muestra presenta una concentración de aniones que destaca, principalmente debido a la concentración de nitratos (NO_3^-) y de cloro (Cl^-), por ser mayor que en otras fechas y en el mismo lugar. La concentración de nitratos (NO_3^-) presenta sus valores máximos en OG-09 y OG-16, pero siempre moderados: en OG-09 se ha medido la máxima concentración puntual, 16,1 ppm. Se detectaron niveles residuales de formiato en una única muestra del charco de OG-14, el 1 de junio de 2002 y con un valor muy bajo, 1 ppm.
- En el caso de los cationes ocurre de forma similar que en los aniones. Presentan unos valores sin gran variabilidad temporal y más diferencias entre hábitat. La concentración de K^+ es el factor que presenta una mayor variabilidad temporal, con un valor de CV de 1,42 en el agua de OG-09 y 0,92 en OG-08, pero siempre sobre valores de concentración normales. El amoníaco no presenta una concentración significativa: en todas las muestras la concentración es menor que 0,5 ppm.

En OG-15, que está situado en Gour de las Hojas (OG-07, OG-08, OG-10 y OG-15), se tomaron cuatro réplicas diferentes para el estudio químico debido a la temporalidad del *gour*. Sin embargo, en los otros tres hábitat de este enclave (OG-07, OG-08 y OG-10) se tomaron ocho o más réplicas en fechas diferentes, pudiendo observarse mejor los patrones físico-químicos. En los datos obtenidos de estos tres puntos (tabla 5.1.1.1.a y apéndice 1) hay una tendencia general: mientras que la saturación de oxígeno disuelto y la concentración de bicarbonatos, ión calcio y la conductividad siguen un orden decreciente OG-08 > OG-10 > OG-07, la concentración de sulfatos, nitratos y cloro presentan el orden inverso: OG-07 > OG-10 > OG-08, cuyos valores se han extraído en la tabla 5.1.1.1.b, y en los que se pueden observar mayores diferencias entre las muestras procedentes de OG-07 y OG-10 que entre las de OG-08 y OG-10. A pesar de que se

encuentran muy próximos en la cueva y que la composición química es muy similar, presentan este gradiente marcado que indica un origen distinto de las aguas. La localización OG-15, con las dos muestras de química presenta una tendencia parecida a la de OG-08, con una concentración de calcio y de bicarbonatos más elevada (255,7 ppm).

Tabla 5.1.1.1.b. Datos físico-químicos que presentan un gradiente en algunos puntos de muestreo: puntos de muestreo OG-07, OG-08 y OG-10 de Gours de las Hojas (conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y concentración iónica de las especies químicas en ppm).

Pto. Muestreo	Conductividad	HCO_3^-	Ca^{2+}		Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
8	448.00	256.54	78.8	+	4.58	4.24	1.02
10	376.88	234.76	72.8	-	4.69	4.76	1.05
7	271.88	190.17	59.7	+	5.05	5.12	1.59

Los mayores valores absolutos de conductividad pertenecen a OG-01 (Museo de Cera, 519 $\mu\text{S}/\text{cm}$), OG-08 (Gours de las Hojas, 528 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y OG-14 (Granja de Ortiz, 588 $\mu\text{S}/\text{cm}$), que también ostentan los valores medios más elevados (tabla 5.1.1.1.a, figura 5.1.1.1.b).

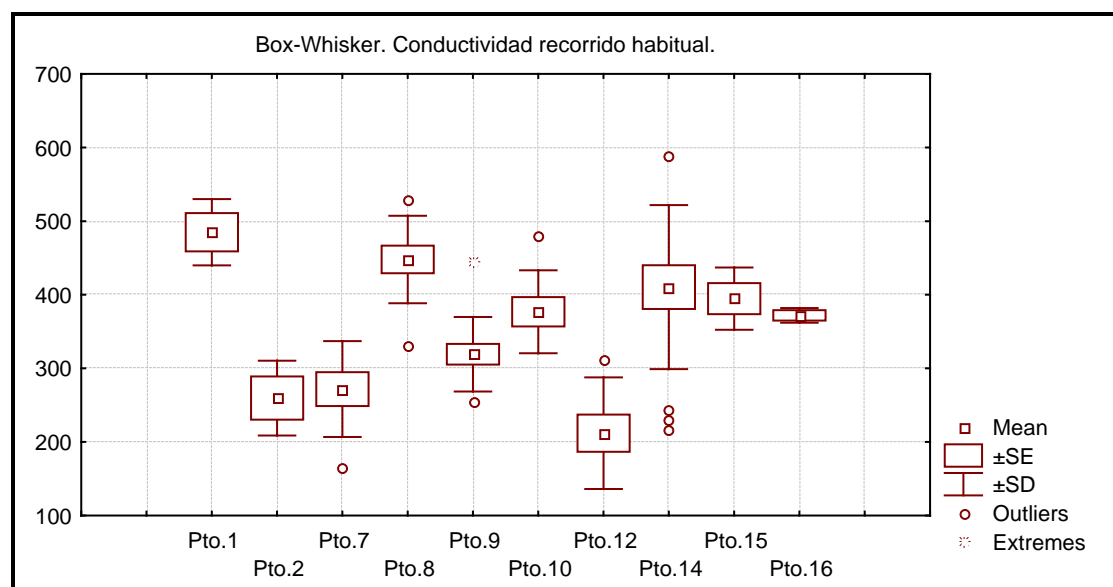


Figura 5.1.1.1.b. Diagrama Box-Whisker con los datos de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las muestras del recorrido habitual.

En los dos diagramas de las figuras 5.1.1.1.b y 5.1.1.1.c se pueden observar gráficamente la variabilidad y el valor medio de la conductividad y de la concentración de bicarbonato, respectivamente. De las localizaciones en que se tomaron muestras en el *recorrido habitual*, los de estudio más intensivo cuentan con un mínimo de ocho réplicas, que como se ha señalado anteriormente se trata de: OG-07, OG-08, OG-09, OG-10, OG-12 y OG-14. Entre ellos, los que destacan por una mayor estabilidad temporal son el Gran Gour de la Sala Edelweiss en OG-09 y el charco temporal de Gour de las Hojas en OG-10, que tienen valores de CV inferiores a 0,5, en

general, como ocurre con las siguientes variables: conductividad eléctrica (0,16 y 0,15, respectivamente), la concentración de bicarbonatos disueltos (0,26 y 0,25, correspondientemente) y el calcio en disolución (0,33 y 0,22, respectivamente).

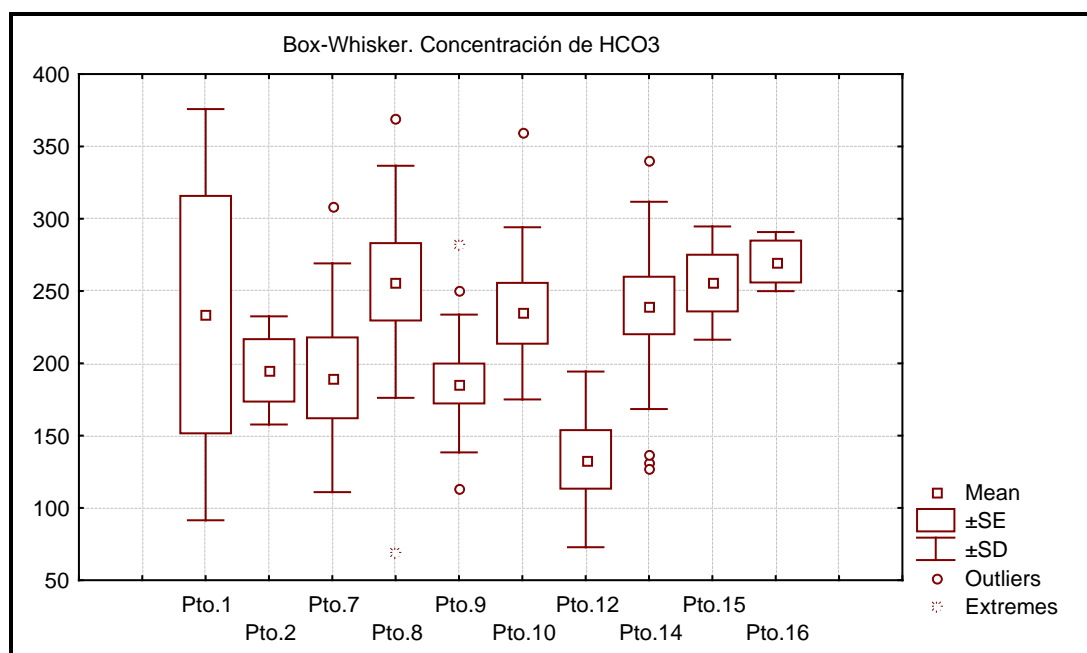


Figura 5.1.1.1.c. Diagrama de Box-Whisker con los datos de concentración de bicarbonatos (mg/l) en los puntos del *recorrido habitual*.

5.1.1.2. Descriptiva de los resultados físico-químicos en el recorrido ocasional en Palomera

En los puntos de muestreo esporádico se pueden diferenciar cinco tipos de hábitat diferentes (lago, río, charco, *gour* y marmita). La naturaleza del lecho que alberga los charcos muestreados en la cavidad principal (incluidas la cueva de Palomera y la cueva de La Torcona) queda reflejada en la tabla 4.1.1.2.a.

Estas ubicaciones se codifican con una numeración entre el 17 y el 54, OG-17 a OG-54 y aparecen de forma detallada en el apéndice 1. Los resultados de su muestreo físico químico se relacionan en este apartado con todos los enclaves restantes considerados en Palomera, por su proximidad espacial y por los resultados de los análisis.

En los datos pertenecientes a las galerías del Sector Resurgencia-Torcona, puntos OG-39 a OG-45, se observa una temperatura superior, 10,4 °C (tabla 5.1.1.2.a), que la del resto de las localizaciones de muestreo de la red principal de galerías, con una media de 9,2 °C. En el registro del contenido en nitratos -NO₃⁻, potasio -K⁺ y cloruro -Cl⁻ de OG-17, OG-30, OG-31, OG-34 y OG-52, en el Sector Central y Segunda Axial, presentan unos niveles relativamente elevados, en comparación con el resto de los valores. El nivel de nitratos -NO₃⁻ alcanza una concentración de

54,6 mg/l en OG-30 y de 49,2 mg/l en OG-17, mientras que en muestras del *recorrido habitual* se ha medido un valor absoluto máximo de 16,1 mg/l en el *gour* de OG-09 y valores medios de entre 0,17 mg/l, en el *gour* de OG-01, hasta 3,86 mg/l, en el *gour* de OG-09, tabla 5.1.1.1.a. También hay otros valores de concentración destacados, como los 6,25 mg/l de cloruros -Cl⁻ en OG-31 y 3,06 mg/l de potasio -K⁺ en OG-30. Las concentraciones de nitratos -NO₃⁻ registradas en las muestras de OG-17 y OG-30 son las mayores de todas las posiciones de muestreo del estudio, incluidos los ríos epigeos.

Tabla 5.1.1.2.a. Valores de las variables físico-químicas por sectores en el recorrido ocasional. Lugares de muestreo agrupados en cuatro sectores. Medias (\bar{x}): T^a en °C, pH adimensional, O₂ en % de saturación de oxígeno disuelto, conductividad en μS/cm y concentraciones iónicas en mg/l.

Sector		T ^a	pH	O ₂	Cond.	CL ⁻	SO ₄ ⁼	NO ₃ ⁻	CO ₃ H ⁻	F ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
Lagos (NE)	\bar{x}	8.7	7.3	80.5	373.1	6.6	5.5	3.0	246.9	0.1	79.6	2.1	0.3	2.7
	S	0.9	0.6	6.4	66.5	1.6	1.8	4.2	40.4	0.1	17.6	0.3	0.1	0.3
	CV	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	1.4	0.2	1.4	0.2	0.1	0.2	0.1
2ª axial (SO)	\bar{x}	10.0	7.04	-	-	4.63	18.02	27.14	252.38	0.16	80.13	3.23	1.59	3.22
	S	0.5	0.00	0.0	0	2.5	9.1	21.3	8.0	0.2	3.9	1.1	1.0	0.9
	CV	0.0	0.00	0.0	0	0.5	0.5	0.8	0.0	1.0	0.0	0.4	0.6	0.3
Resurgencia (SE)	\bar{x}	10.40	7.27	67.86	314.33	5.14	10.91	3.73	189.53	0.06	58.57	1.95	1.24	2.44
	S	0.3	0.2	15.6	41.9	1.0	5.0	1.6	33.0	0.1	8.2	0.4	0.5	0.3
	CV	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.5	0.4	0.2	1.1	0.1	0.2	0.4	0.1
Dédalo Oeste (NO)	\bar{x}	9.68	7.20	82.00	341.33	5.26	7.30	13.47	173.64	0.00	53.55	3.07	0.79	2.53
	s	0.8	0.1	6.0	102.4	0.6	5.8	18.3	33.7	0.0	14.7	1.0	0.9	0.2
	CV	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.8	1.4	0.2	0.0	0.3	0.3	1.1	0.1

5.1.1.3. Descriptiva de los resultados físico-químicos en el entorno de Palomera

Atendiendo a los datos de las muestras de agua que se obtuvieron en el *entorno*, del mismo modo que en la cavidad principal, el análisis denota una buena calidad general del agua, sin valores extremos de concentración de los solutos. Sobresale la muestra tomada en el punto 3 del río Trema, en noviembre de 2002, en la que se midió una conductividad de 1.675 μS/cm, mientras que el resto de muestras presentaba una media de 361 μS/cm y una desviación típica de 166 μS/cm. Esta muestra del río Trema tenía una concentración de cloruros y potasio algo elevada: el nivel de cloruros en disolución alcanza los 36,2 mg/l, mientras que la media del resto de muestras es de 5,37 mg/l y una desviación típica de 3,58 y el nivel de nitratos se sitúa en 33,9 mg/l, frente al resto de muestras, con una media de 1,81 mg/l y una desviación típica de 2,98

mg/l. La concentración de sulfatos también es muy elevada, 50 veces superior con respecto a la media del resto de muestras de hiporréico obtenidas en el *entorno*.

Tabla 5.1.1.3.a. Variables físico-químicas medidas por hábitat: media, desviación típica y coeficiente de variación. La media se mide en: Temperatura (°C); pH: adimensional; Oxígeno: porcentaje de saturación en la solución acuosa; Conductividad eléctrica (μS/cm); Concentración de iones en disolución (mg/l): Cl⁻, cloro, SO₄²⁻, sulfatos, Br⁻, bromo, NO₂⁻, nitritos, NO₃⁻, nitratos, HPO₄²⁻, fosfatos, HCO₃⁻, bicarbonatos y F⁻, fluoruros; Concentración de cationes (mg/l): Ca²⁺, calcio, Mg²⁺, magnesio, NH₄⁺, amonio, K⁺, potasio y Na⁺, sodio.

Hábitat		T ^a	pH	O ₂	Cond.	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺
Cuevas	$\bar{\chi}$	10.7	7.36	77.6	407.9	6.02	8.81	0.00	0.00	1.53	0.00	261.8	0.01	83.7	2.50	0.03	0.21	2.65
	s	1.3	0.79	4.0	86.2	3.84	7.84	0.00	0.00	3.46	0.00	84.4	0.02	25.9	1.00	0.10	0.41	1.14
	CV	0.1	0.11	0.1	0.2	0.64	0.89	0.00	0.00	2.26	0.00	0.3	2.00	0.3	0.40	3.33	1.95	0.43
Fuentes	$\bar{\chi}$	10.4	7.14	67.2	492.4	4.89	11.58	0.00	0.00	2.24	0.00	352.3	0.03	106.9	3.97	0.00	0.97	4.45
	s	1.3	0.26	12.7	123.5	1.49	7.07	0.00	0.00	2.83	0.00	104.2	0.04	31.7	1.37	0.00	2.78	2.39
	CV	0.1	0.04	0.2	0.2	0.31	0.61	0.00	0.00	1.26	0.00	0.3	1.33	0.3	0.34	0.00	2.87	0.54
Hiporréico	$\bar{\chi}$	8.9	7.18	34.5	375.7	8.03	56.43	0.00	0.00	3.31	0.00	207.7	0.02	81.9	7.22	0.00	1.62	5.38
	s	1.1	0.49	24.4	439.1	10.1	165.37	0.00	0.00	9.64	0.00	106.2	0.04	80.2	12.29	0.00	2.22	4.65
	CV	0.1	0.07	0.7	1.2	1.3	2.90	0.00	0.00	2.90	0.00	0.5	2.00	1.0	1.7	0.00	1.37	0.86
Freático	$\bar{\chi}$	8.7	7.26	58.9	223.5	4.53	15.58	0.00	0.00	4.81	0.00	207.0	0.04	66.0	4.53	0.00	0.99	3.62
	s	1.7	0.37	18.3	138.2	1.52	12.17	0.00	0.00	4.07	0.00	119.9	0.04	38.9	1.91	0.00	0.80	1.37
	CV	0.2	0.05	0.3	0.6	0.34	0.78	0.00	0.00	0.85	0.00	0.6	1.00	0.6	0.42	0.00	0.81	0.38
Conjunto	$\bar{\chi}$	9.8	7.23	42.5	490.9	11.2	95.5	0.00	0.00	7.75	0.00	241.0	0.03	106.8	10.5	0.00	1.37	6.07
	s	1.6	0.35	24.6	516.4	12.5	214.4	0.00	0.00	12.05	0.00	124.3	0.04	100.3	15.7	0.00	1.16	4.74
	CV	0.2	0.05	0.6	1.0	1.1	2.2	0.00	0.00	1.55	0.00	0.5	1.33	0.9	1.5	0.00	0.85	0.78

Con los datos obtenidos de todas las muestras del *entorno* se han calculado la media y el coeficiente de variación, que reflejan las condiciones de cada uno de los hábitat (cuevas, surgencias, medios hiporréico y freático). Dichos datos reflejan una cierta estabilidad de los diferentes factores dentro de cada hábitat, tabla 5.1.1.3.a, obtenida a partir de los datos del apéndice 2, del mismo modo que ocurre con las localizaciones de muestreo de la cavidad principal. En general, las variables poseen un coeficiente de variación escaso, menor que 1. La mayor variación se centra en el medio hiporréico, con un CV mayor o igual que 1 en varios parámetros: conductividad eléctrica y concentración de los iones cloro, sulfato, nitrato, flúor, calcio, magnesio y potasio. En los otros tres medios, por el contrario, existe un CV menor que 0,5 para el grueso de las variables: T^a, pH, conductividad y concentración de los iones Cl⁻, SO₄²⁻,

Ca^{2+} y Mg^{2+} , entre otros, los cuales en el medio hiporréico superan el coeficiente de 1, lo que apunta a una mayor estabilidad en las condiciones físico-químicas.

Si se observan los datos más detalladamente se ve que la temperatura es muy homogénea, con un coeficiente de variación de sólo 0,2 considerando todas las muestras de los cuatro tipos de hábitat, independientemente de dónde se localizan. Ocurre de forma similar con el pH, el cual tiene un coeficiente de variación de sólo 0,05 en el conjunto de las muestras. Existe una mayor heterogeneidad en el caso de la concentración de oxígeno disuelto y la conductividad, así como de la concentración de ciertos iones: sulfatos, nitratos, magnesio y cloro, con un CV superior que 1. Entre los principales factores que determinan el grado de mineralización y de contaminación del agua se encuentran la conductividad eléctrica y la concentración de diferentes sustancias iónicas: sulfatos, nitratos, cloro, bicarbonato, calcio, sodio y potasio.

El conjunto de sales disueltas, representado por la conductividad eléctrica, alcanza un valor medio mayor en las fuentes, 492,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguido de las cuevas, 407,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en ambos medios de forma estable, ya que tienen los menores CV, 0'64 y 0'31, correspondientemente. La mayor variabilidad la presentan las muestras del medio hiporréico, tabla 5.1.1.3.a, con una desviación típica de 439,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor de CV de 1'17. Esto se debe en gran medida a la muestra del punto 3 del río Trema, que tenía una conductividad de 1.675 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muy superior al resto de las muestras. Excluyendo dicho valor, la conductividad media del medio hiporréico es tan sólo 257,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un CV de 0'65, más próximo a lo registrado en las muestras del medio freático.

En el medio hiporréico se registraron los valores más bajos de oxígeno disuelto (media de 34,5% de saturación y en torno al 10% en el río Guareña y la ubicación 2 de los ríos Trema y Nela), con valores muy inferiores a los que mostraron las muestras de las cuevas -77,6%- y de las surgencias -67,2%-. Además del valor de saturación de oxígeno disuelto, también se observan diferencias en la concentración de los iones Cl^- y SO_4^{2-} , buenos indicadores de contaminación, en concentraciones ligeramente superiores al resto de los medios. Sin embargo, la concentración de Cl^- y SO_4^{2-} presenta una gran heterogeneidad en las diferentes muestras de río y la desviación de los valores medios es debida a los valores extremos en determinadas localizaciones: 581,4 mg/l de SO_4^{2-} en el punto 3 del río Trema; 36,2 mg/l y 20 mg/l de concentración de Cl^- en la localización 3 del río Torme y en el río Ulemas, respectivamente. El resto de emplazamientos de río presentan una gran uniformidad, con valores de mineralización más próximos al que presentan las muestras de los otros medios ecológicos.

Para observar el patrón físico-químico de las muestras de agua colectadas se ha representado la gráfica de la figura 5.1.1.3.a, con los valores de la tabla 5.1.1.3.a estandarizados, en la que se refleja cada parámetro físico-químico en los cuatro medios ecológicos calculados con la media de todas las muestras tomadas en cada uno. En esta figura se observa la evolución paralela de

algunas variables físico-químicas, donde destaca el paralelismo entre la conductividad y la concentración de Ca^{2+} y HCO_3^- disueltos. También se ve afinidad entre la temperatura del agua y la cantidad de oxígeno disuelto, que guardan una relación positiva, aunque el oxígeno fluctúa de un modo más acusado. Por último, existe una relación inversa entre el pH y la concentración de los cationes de K^+ , Na^+ y, en menor medida, el Mg^{2+} .

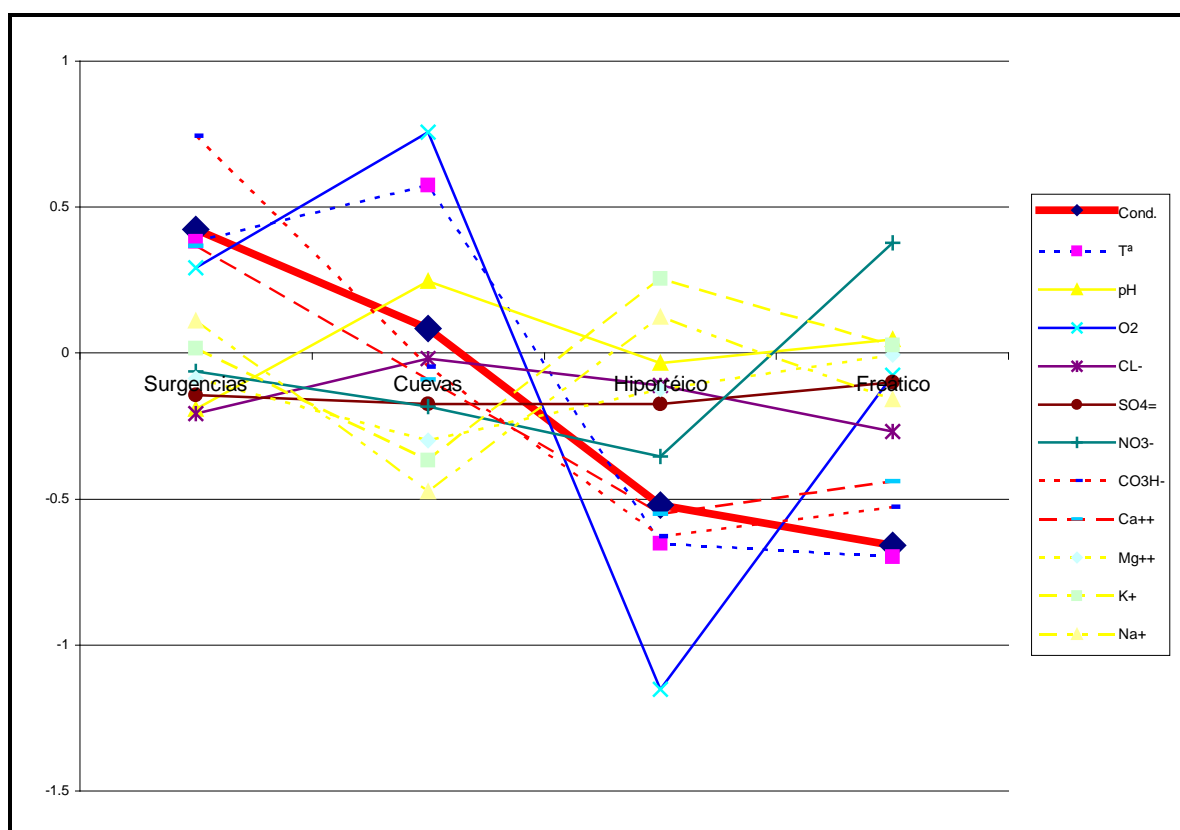


Figura 5.1.1.3.a. Patrón de variación en las variables físico-químicas en cada hábitat. Valores estandarizados de la tabla 5.1.1.3.a.

5.1.2. Caracterización físico-química

Al analizar el conjunto de los datos físico-químicos de todas las muestras de la cueva Palomera, se observa que existe un índice de correlación elevado y positivo entre las concentraciones de Ca^{2+} y HCO_3^- en disolución, $r_s=0,968$, $p<0,05$, figura 5.1.2.a.

Este elevado índice de correlación indica que se trata de aguas meteóricas, con niveles de contaminación escasos o nulos, cuya mineralización se debe fundamentalmente a la disolución de la roca caliza. El grado de mineralización del agua depende, entre otros factores, del tiempo de residencia en la matriz rocosa desde el momento en que penetra en ella hasta que se recoge para su análisis.

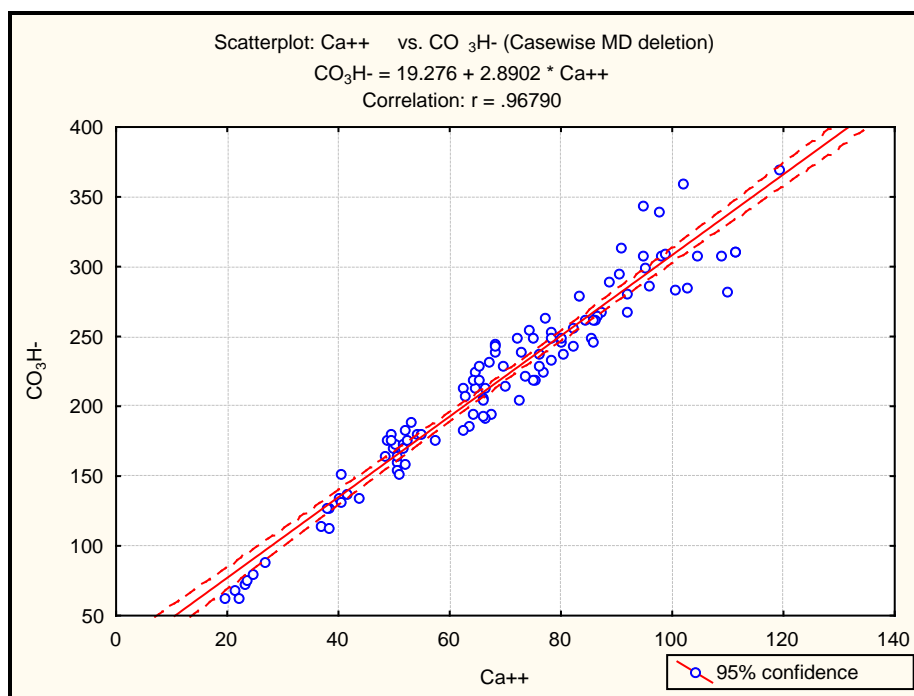


Figura 5.1.2.a. Índice y función de correlación entre las concentraciones de calcio y de bicarbonato en las muestras analizadas de la cueva de Ojo Guareña.

Tabla 5.1.2.a. Índices de correlación entre las variables químicas de las muestras analizadas en la cueva de Palomera. Muestras con los datos de físico-química completos. Las correlaciones destacadas en negrita son significativas, $p < 0,05$, $N = 84$.

	T ^a	pH	O ₂	Cond.	CL-	SO ₄ =	NO ₃ -	CO ₃ H-	F-	Form.	Ca++	Mg++	K+	Na+
T ^a	1	0.01	-0.16	0.45	-0.01	0.07	-0.01	0.30	0.18	0.01	0.23	0.04	-0.20	0.21
pH	0.01	1	-0.08	0.22	0.12	0.02	-0.20	0.18	-0.08	0.35	0.18	-0.10	-0.31	0.06
O ₂	-0.16	-0.08	1	0.14	0.06	-0.03	0.03	0.20	-0.06	0.07	0.14	0.18	-0.11	0.13
Cond.	0.45	0.22	0.14	1	0.00	-0.05	0.12	0.58	0.03	0.14	0.54	0.21	-0.33	0.19
CL-	-0.01	0.12	0.06	0.00	1	-0.02	0.19	0.12	0.14	0.43	0.17	0.17	-0.15	0.07
SO ₄ =	0.07	0.02	-0.03	-0.05	-0.02	1	0.11	-0.14	-0.02	0.01	-0.13	0.02	0.22	0.09
NO ₃ -	-0.01	-0.20	0.03	0.12	0.19	0.11	1	0.03	-0.02	-0.03	0.10	0.25	0.07	-0.12
CO ₃ H-	0.30	0.18	0.20	0.58	0.12	-0.14	0.03	1	0.15	0.05	0.97	0.31	-0.37	0.12
F-	0.18	-0.08	-0.06	0.03	0.14	-0.02	-0.02	0.15	1	0.05	0.09	0.04	-0.12	0.14
Form.	0.01	0.35	0.07	0.14	0.43	0.01	-0.03	0.05	0.05	1	0.01	0.00	-0.05	0.12
Ca++	0.23	0.18	0.14	0.54	0.17	-0.13	0.10	0.97	0.09	0.01	1	0.27	-0.37	0.00
Mg++	0.04	-0.10	0.18	0.21	0.17	0.02	0.25	0.31	0.04	0.00	0.27	1	0.04	0.15
K+	-0.20	-0.31	-0.11	-0.33	-0.15	0.22	0.07	-0.37	-0.12	-0.05	-0.37	0.04	1	0.08
Na+	0.21	0.06	0.13	0.19	0.07	0.09	-0.12	0.12	0.14	0.12	0.00	0.15	0.08	1

En la tabla 5.1.2.a están los valores de correlación entre las variables. La conductividad eléctrica, que representa la concentración del total de especies químicas disueltas, tiene una correlación significativa con la concentración de HCO₃⁻ y Ca²⁺ disueltos, casi un 60%, $r_s=0,58$ y $r_s=0,54$ respectivamente, para $p<0,05$. Esto refuerza la conjetura de la pureza de las aguas y de una mineralización basada en la disolución de la roca caliza. En el resto de variables, aunque la

correlación entre algunos de ellos es significativa (valores resaltados en la tabla), el índice de correlación es menor como se puede observar, por ejemplo, entre la concentración de HCO_3^- y la temperatura, entre la concentración de Ca^{2+} disuelto y la temperatura o entre el potasio disuelto y varios factores: pH, conductividad eléctrica, y concentración de SO_4^{2-} , HCO_3^- y Ca^{2+} .

Tabla 5.1.2.b. Análisis químico y toma de datos *in situ* del agua kárstica. Concentración iónica en ppm (mg/l). Conductividad eléctrica (CE) en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Oxígeno (O_2) en porcentaje de saturación.

* Fechas con muestras biológicas, datos utilizados en los análisis faunístico y ambiental.

PUNTO	FECHA	Estación del año	T ^a (°C)	pH	O ₂ (%sat)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
OG-07	25/01/03	Invierno	8.4	7.50	65.5	328	2.8	4.3	0.30	215	70.0	1.70	0.00	1.6
	*08/03/03	Invierno	8.2	7.80	65.3	165	5.5	4.7	1.07	308	97.9	1.60	1.60	2.4
	04/04/03	Primavera	8.6	7.70	77.7	197	4.4	3.7	1.45	89	26.7	1.10	1.30	2.6
	10/05/03	Primavera	8.6	7.70	86.2	259	4.4	4.0	2.00	115	36.7	1.50	1.40	2.8
	*07/06/03	Primavera	8.6	7.53	73.3	296	5.0	8.0	2.30	174	50.2	2.10	1.50	3.1
OG-08	*22/11/02	Otoño	10.2	7.70	82.0	528	5.8	5.5	1.80	370	119.0	1.96	0.00	2.3
	25/01/03	Invierno	10.1	7.60	84.7	508	3.7	4.5	0.40	300	95.0	2.10	0.00	1.5
	*08/03/03	Invierno	10.0	7.80	57.3	475	4.2	4.0	0.00	69	21.3	1.00	0.94	3.0
	04/04/03	Primavera	9.9	7.60	75.7	443	4.7	4.7	1.45	250	74.8	1.60	0.23	3.0
	10/05/03	Primavera	10.1	7.94	79.5	477	3.6	5.3	0.93	280	83.2	1.79	1.43	3.2
	*07/06/03	Primavera	9.3	7.54	89.4	386	4.9	5.1	1.20	245	68.2	1.83	0.57	3.0
OG-09	*30/08/02	Verano	7.8	7.50	76.0	312	5.1	5.1	2.80	206	65.7	2.10	0.17	1.5
	*22/11/02	Otoño	8.1	7.60	79.3	294	25.7	4.1	16.1	283	109.7	2.70	0.00	1.6
	25/01/03	Invierno	7.1	7.90	78.0	370	3.9	3.6	3.70	250	85.4	2.10	0.00	1.9
	*08/03/03	Invierno	7.6	8.00	78.4	369	4.1	4.0	0.00	113	38.1	1.10	0.26	2.1
	04/04/03	Primavera	6.8	7.90	81.8	284	6.9	5.6	3.46	160	50.4	1.72	0.42	2.5
	10/05/03	Primavera	7.8	7.77	72.2	326	5.4	4.9	2.92	155	50.4	1.72	0.22	2.3
	*07/06/03	Primavera	7.3	7.67	87.0	303	6.0	6.0	3.10	165	48.1	1.84	0.46	2.5
	*27/09/03	Otoño	8.0	7.16	80.0	313	4.8	5.3	2.43	189	52.9	1.91	2.04	2.0
OG-10	*22/11/02	Otoño	9.3	8.10	79.8	479	5.2	5.2	1.60	360	102.0	2.72	0.00	4.5
	*25/01/03	Invierno	8.6	7.50	81.2	392	3.6	4.2	0.60	268	87.0	2.18	0.00	1.9
	*08/03/03	Invierno	8.3	7.80	67.8	418	6.1	5.0	1.16	193	65.7	1.72	0.30	2.6
	04/04/03	Primavera	8.1	7.90	72.8	316	5.4	4.7	0.62	180	53.9	1.48	0.40	3.0
	10/05/03	Primavera	8.6	8.02	77.6	405	3.8	4.4	0.99	240	68.0	1.76	0.30	3.1
	*07/06/03	Primavera	8.7	7.55	87.1	327	4.2	5.3	1.20	180	54.6	1.72	0.41	3.0
OG-12	*25/01/03	Invierno	4.7	6.60	86.0	127	1.8	3.7	0.00	76	23.5	1.25	1.40	1.2
	*08/03/03	Invierno	5.5	7.00	65.2	150	5.1	4.0	2.70	205	72.5	1.78	1.99	2.6
	04/04/03	Primavera	5.2	7.50	80.9	146	4.4	4.2	1.28	63	19.5	1.18	1.82	2.8
	10/05/03	Primavera	6.4	7.61	83.8	162	4.1	4.3	1.32	63	22.1	1.29	2.09	2.4
	*07/06/03	Primavera	6.2	7.58	87.5	164	4.3	7.1	1.40	80	24.4	1.55	1.85	2.8
	*27/09/03	Otoño	7.0	6.90	80.8	313	5.3	6.2	2.19	180	49.5	2.72	1.92	2.8
OG-14	*30/08/02	Verano	8.0	7.85	61.0	217	5.7	5.6	1.30	132	40.5	2.00	0.80	1.7
	*22/11/02	Otoño	8.4	8.00	79.5	456	4.6	6.6	0.82	340	97.6	3.75	0.00	2.8
	25/01/03	Invierno	8.4	7.70	80.8	521	3.5	5.7	0.00	310	98.6	3.20	0.00	1.9
	*08/03/03	Invierno	9.3	8.10	78.2	588	4.7	6.3	0.00	296	90.4	2.80	1.08	2.7
	04/04/03	Primavera	7.7	8.00	76.6	416	5.0	7.1	0.50	240	72.8	2.73	0.83	3.1
	10/05/03	Primavera	9.4	8.20	73.5	470	4.6	20.1	1.52	265	86.3	2.98	0.76	2.8
	*07/06/03	Primavera	8.4	8.07	75.0	388	4.8	7.3	0.68	205	65.9	2.77	0.55	2.8
	*27/09/03	Otoño	8.4	7.74	61.0	243	6.1	6.3	1.27	137	41.4	1.81	0.39	2.6

Se ha señalado anteriormente que se cuenta con un gran volumen de datos recogidos dentro de la cavidad principal, con diversas variables medidas en más de un centenar de muestras -18 variables y 115 muestras-, que se relacionan en el apéndice 1. Para el estudio detallado de los patrones espaciales y temporales se han tenido en consideración las muestras y los datos que aparecen en la tabla 5.1.2.b, debido a la homogeneidad y concordancia de los datos, en función de

las fechas de muestreo y la integridad de los propios resultados. Estas muestras pertenecen a seis emplazamientos que se visitaron en ocho jornadas diferentes, con las que se ha cubierto un ciclo anual: desde agosto de 2002 hasta septiembre de 2003. Se han incluido todas las variables físico-químicas, tanto los datos del análisis en el campo, como los resultados del tratamiento en el laboratorio. No se ha podido contar con réplicas de todas las localizaciones en las mismas fechas, debido al descenso drástico del nivel de carga hídrica que sufren algunas balsas. Así se ha detectado en OG-07, OG-08, OG-10 y OG-12, que se pueden secar por la ventilación o como consecuencia de la percolación hacia niveles inferiores, que en el estudio se ha acusado, puesto que durante los años 2002 y 2003 se sufrió una sequía severa. Las muestras consideradas en este análisis son un total de 39 y aparecen en la tabla 5.1.2.b.

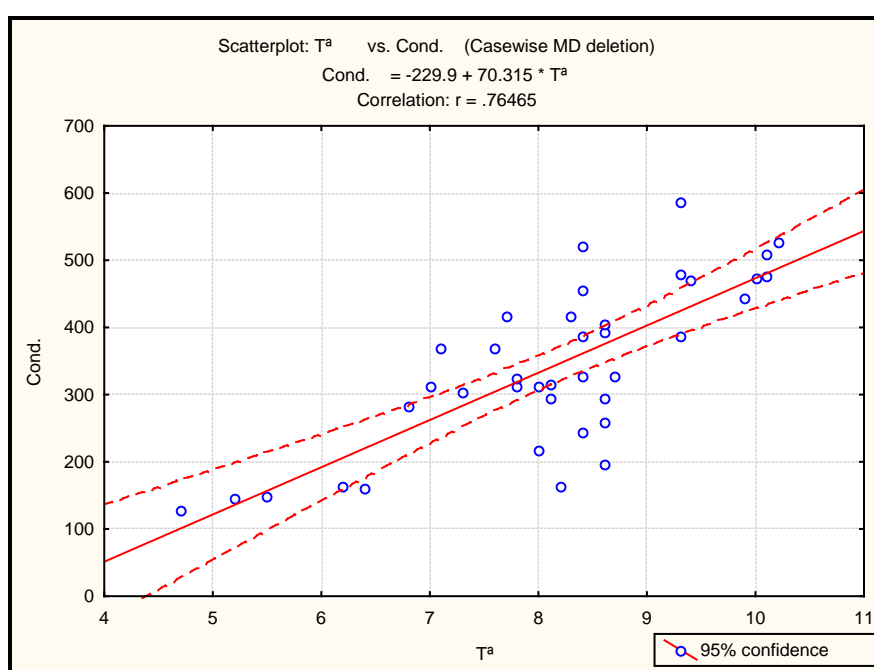


Figura 5.1.2.b. Correlación entre la conductividad eléctrica y la temperatura, medidas en las 39 muestras consideradas del *recorrido habitual*.

Tras el análisis de este conjunto de datos se obtiene un resultado similar al del análisis de los datos obtenidos en todo el *recorrido habitual*. La conductividad eléctrica, que es un reflejo del total de especies químicas disueltas, presenta una correlación positiva del 76,5% con la temperatura, así puede verse en la figura 5.1.2.b. Esta relación se puede interpretar como una consecuencia del incremento del metabolismo de los organismos presentes en el suelo, derivado de un leve aumento de las temperaturas y del contenido de nutrientes en disolución. Así se observa en el medio epigeo, que en primavera y verano se incrementa la tasa respiratoria y se produce más CO₂. El CO₂ es el principal compuesto que regula la disolución y precipitación de las especies químicas examinadas. Sin embargo, todo este proceso se ve limitado por los episodios de lluvia y consecuente percolación

del agua, que arrastra los diferentes metabolitos disueltos y detritos en suspensión desde la superficie y la matriz edáfica hasta las masas de agua subterránea.

El total de especies químicas disueltas varía significativamente dependiendo del charco muestreado, lo cual se debe a una conjunción de factores, entre los que destacan: las diferencias de profundidad de agua en las balsas, el tipo de recarga hídrica (puntual o difusa), el sustrato del fondo (rocoso o sedimentario), tiempo de residencia del agua y las fluctuaciones relativas entre el flujo y la recarga de las masas de agua. La influencia del tipo de sustrato sobre el total de especies químicas disueltas parece bastante patente: el único charco que presenta el fondo rocoso, con sedimento grueso, el charco de la Galería de Italianos en OG-12, es el que presenta una menor mineralización del agua; de modo contrario, aquellos que presentan un fondo no consolidado y con el sedimento más fino, OG-08, OG-10 y OG-14, tienen los valores más elevados. Este fenómeno se debe a que al existir un sedimento de textura fina se multiplica la superficie de contacto entre el agua y el sedimento, de forma que la disolución de los minerales aumenta notablemente. Los charcos que presentan el sedimento más fino son OG-07 en Gour de las Hojas y OG-14 -Granja de Ortiz-, sin embargo OG-07 no está entre los que presentan mayores niveles de mineralización, quizás por la temporalidad de sus aguas, al ser uno de los que se seca con mayor rapidez. Son, pues, los charcos OG-08 y OG-14 los que presentan la mineralización más elevada, que combinan la permanencia del agua y una textura fina del sedimento. El charco OG-09 -Sala Edelweiss- es el que presenta menor fluctuación temporal en las concentraciones iónicas y de $p\text{CO}_2$ debido a su mayor extensión, profundidad y aporte prácticamente permanente de agua. Los charcos OG-09 y OG-14 presentan una variación similar, con las concentraciones más elevadas durante el invierno, por el incremento de solubilidad del carbonato a menor temperatura. En septiembre de 2003 hay una reducción en la concentración de carbonatos del charco OG-14, quizás por una tormenta sucedida previamente al muestreo, que pudo afectar sólo a este charco por su mayor proximidad al exterior, diluyendo los solutos con mayor rapidez que en el resto de localizaciones. Asimismo, el charco en OG-07 presenta la tendencia típica de los *gours* y charcos pequeños, con una reducción en la concentración iónica tras los episodios lluviosos, en abril, e incremento de concentración durante el verano. La evaporación en estos charcos de menor profundidad, aunque lenta, es más acusada que donde hay grandes volúmenes de agua y en aquellas épocas en las que la saturación de vapor de agua en la atmósfera desciende levemente bajo el nivel de saturación, como consecuencia de la disminución o la ausencia de percolación.

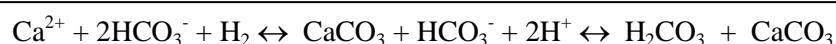
La ubicación OG-09 es la que presenta el mayor valor de $p\text{CO}_2$, $10^{-2.41}$ bar, mientras que OG-14 es el que tiene el menor valor medio, $10^{-2.72}$ bar, que refleja mayor ventilación por su proximidad a la entrada. Aunque la media de la composición química del agua a lo largo de todo el año presenta pequeñas variaciones, la concentración de CO_2 sí se ve más afectada por los cambios estacionales, con un patrón muy similar en los seis puntos estudiados. Esta concentración de CO_2 está regulada

por los procesos de recarga, con los valores máximos de concentración, y los periodos de sequía, en que alcanza el pico más bajo.

El efecto de la sequía y de las lluvias destaca en OG-09 y OG-12, en cuyas muestras se produce un aumento brusco de la presión de CO₂, debido al gran contenido en CO₂ en el suelo y el comienzo de las lluvias que lo disuelven y transportan al medio subterráneo. Al penetrar en la cueva, el agua cargada de bicarbonato desencadena una descompensación en la reacción de equilibrio de par carbonato – bicarbonato, dando lugar a la desgasificación del agua, por pérdida de CO₂.



Cuando entran en juego otros cationes, como en el caso del calcio, procedente del bicarbonato cálcico predominante en el agua del Complejo, la reacción de equilibrio implicada es la siguiente:



Si el agua presenta un contenido elevado de CO₂ y HCO₃⁻, habitual en aguas freáticas y de percolación en ambientes kársticos, el anhídrido carbónico se desprende fácilmente a la atmósfera de las galerías, tendiendo a un equilibrio con la concentración de CO₂ existente en la atmósfera, que por lo general es menor. El agua pierde CO₂ y para compensar esta pérdida, el H₂CO₃ se disocia en anhídrido carbónico y agua, de modo que tienden a equilibrar las concentraciones según los índices de disociación de cada uno. En el desarrollo de esta fórmula se observa que en el proceso de formación de H₂CO₃, también se forma CaCO₃.

Por tanto, donde existen goteos es común que ocurra una liberación de CO₂, desde el agua hacia la atmósfera, y por las reacciones sucesivas de equilibrio acabe provocando la precipitación del CaCO₃. Este es el proceso básico mediante el cual se generan los espeleotemas. En las galerías de Ojo Guareña se encuentran *gours* -Sala del Museo de Cera, fotografía 4.1.1.1.e, Gour de las Hojas, fotografía 4.1.1.1.f-, estalactitas, estalagmitas y otras concreciones que tapizan la roca e incluso son capaces de generar un gran dique, como en los Lagos, en la Galería Principal -fotografía 4.1.1.2.b-. La presión parcial -pCO₂- y la concentración de anhídrido carbónico en las aguas estancadas están determinadas por la saturación del mismo compuesto en la atmósfera. A su vez, la atmósfera de la cavidad varía en función de la meteorología exterior y la geometría de la cueva, además de la conductividad hidráulica y composición del sustrato que la separa de la superficie externa.

Los valores de pCO₂ calculados se representan en la figura 5.1.2.c. Dichos valores se han calculado teniendo en cuenta el pH y la temperatura medidos *in situ*, durante las exploraciones realizadas en la Cavidad.

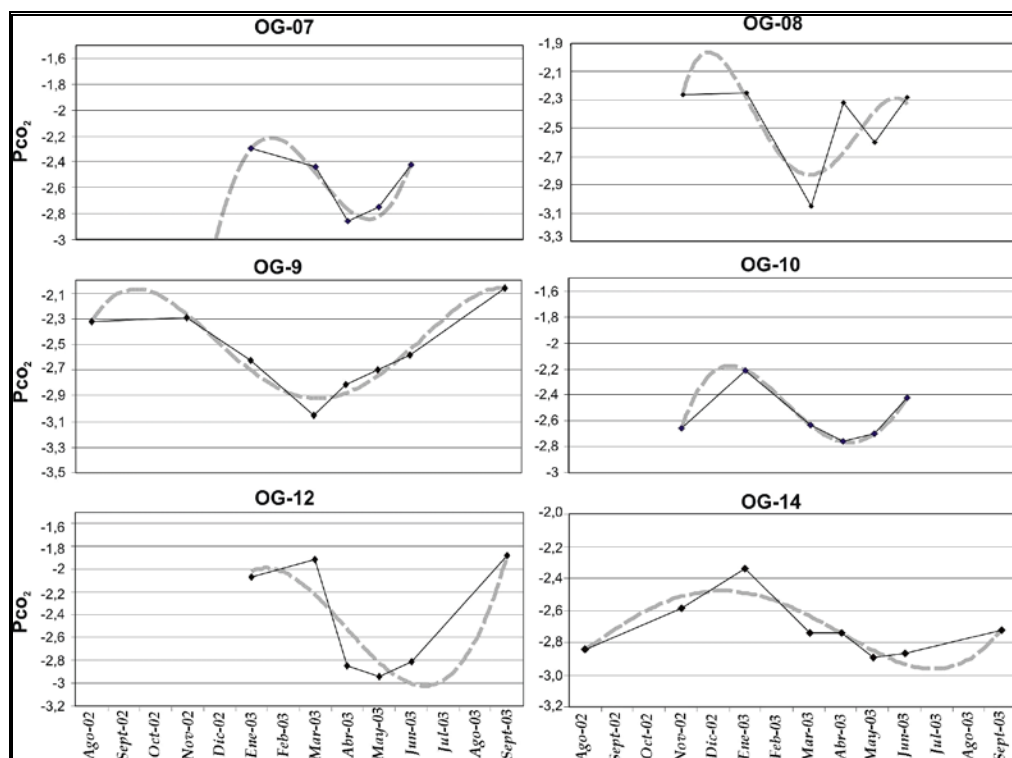


Figura 5.1.2.c. Evolución de la presión parcial de anhídrido carbónico en las seis localizaciones de muestreo con mayor frecuencia de muestreos.

La tabla 5.1.2.c posee los valores de saturación calculados en las muestras estudiadas. En referencia a estos índices de saturación, los charcos con sedimento no consolidado (OG-08, OG-10 y OG-14) están habitualmente sobresaturados o próximos al equilibrio. OG-14 presenta la mayor estabilidad y tiene las medias más altas. Esto respeta la concordancia con el nivel de saturación de CO₂, que es el menor de todos los charcos, y como ya se ha comentado previamente, tienen una relación inversa: cuando se libera gran cantidad de CO₂ del agua a la atmósfera, el agua se satura de carbonatos. En el extremo opuesto se sitúan OG-07 y OG-12, generalmente por debajo del índice de saturación. OG-09 presenta valores elevados, estables y cercanos al equilibrio, lo que se explica por su gran volumen de agua embalsada.

Todas las muestras procedentes de las incursiones del invierno de 2002-2003 muestran una sobresaturación, a pesar de sus valores elevados de pCO₂. Este hecho indica el paso de un periodo frío y seco, con escasa recarga de agua y evaporación lenta.

Tabla 5.1.2.c. Presión parcial de CO₂ e índice de saturación de carbonato cálcico, aragonito y calcita, en las aguas muestreadas.

Punto de muestreo	FECHA	T (°C)	log Pco ₂	ARAG	CALC
OG-07	25/01/03	8.4	-2.30	-0.19	-0.03
	08/03/03	8.2	-2.44	0.40	0.55
	04/04/03	8.6	-2.86	-0.71	-0.56
	10/05/03	8.6	-2.75	-0.48	-0.33
	07/06/03	8.6	-2.42	-0.37	-0.21
media		8.48	-2.55	-0.27	-0.12
OG-08	22/11/02	10.2	-2.26	0.47	0.63
	25/01/03	10.1	-2.25	0.20	0.35
	08/03/03	10	-3.05	-0.78	-0.63
	04/04/03	9.9	-2.32	0.03	0.19
	10/05/03	10.1	-2.60	0.47	0.62
media	07/06/03	9.3	-2.28	-0.09	0.07
		9.93	-2.46	0.05	0.21
OG-09	30/08/02	7.8	-2.32	-0.24	-0.08
	22/11/02	8.1	-2.29	0.19	0.34
	25/01/03	7.1	-2.63	0.34	0.50
	08/03/03	7.6	-3.05	-0.18	-0.02
	04/04/03	6.8	-2.81	-0.05	0.11
	10/05/03	7.8	-2.70	-0.18	-0.02
	07/06/03	7.3	-2.58	-0.28	-0.13
	27/09/03	8	-2.06	-0.73	-0.58
media		7.56	-2.56	-0.14	0.02
OG-10	22/11/02	9.3	-2.66	0.79	0.95
	25/01/03	8.6	-2.21	-0.01	0.15
	08/03/03	8.3	-2.63	0.06	0.21
	04/04/03	8.1	-2.76	0.05	0.21
	10/05/03	7.8	-2.70	-0.18	-0.02
media	07/06/03	8.7	-2.42	-0.30	-0.14
		8.47	-2.56	0.07	0.23
OG-12	25/01/03	4.7	-2.07	-2.22	-2.06
	08/03/03	5.5	-1.91	-0.81	-0.65
	04/04/03	5.2	-2.84	-1.26	-1.10
	10/05/03	6.4	-2.94	-1.07	-0.91
	07/06/03	6.2	-2.81	-0.97	-0.81
media	27/09/03	7	-1.88	-1.11	-0.96
		5.83	-2.41	-1.24	-1.08
OG-14	30/08/02	8	-2.84	-0.24	-0.09
	25/10/02	7.8	--	--	--
	22/11/02	8.4	-2.59	0.64	0.79
	25/01/03	8.4	-2.34	0.30	0.46
	08/03/03	9.3	-2.74	0.67	0.82
	04/04/03	7.7	-2.74	0.38	0.53
	10/05/03	9.4	-2.89	0.70	0.86
	07/06/03	8.4	-2.87	0.36	0.51
	27/09/03	8.4	-2.72	-0.32	-0.17
media		8.42	-2.72	0.31	0.46

5.1.3. Resultados del análisis estadístico multivariante de los datos físico-químicos. Patrones de la composición del agua

El análisis de las variables físico-químicas de los distintos hábitat estudiados en Ojo Guareña, se ha realizado según las dos líneas generales de detección de patrones en conjuntos multivariantes y un test de relación entre pares:

- a) En primer lugar, se ha realizado un análisis de agrupamiento jerárquico (*cluster*) que agrupa las muestras por criterios de similitud. El patrón resultante se puede examinar en busca de agrupamientos significativos, ya sea por la estacionalidad o por la naturaleza del hábitat.
- b) En segundo lugar, los análisis de ordenación, tanto componentes principales (PCA) como ordenamiento multidimensional no paramétrico (NMDS), permiten disponer los datos en un espacio multidimensional, donde los ejes pueden ser las propias variables físico-químicas o los medios, y encontrar aquel subconjunto que mejor ordena -organiza- esos datos en un espacio de menos dimensiones, y por tanto dan cuenta mejor de sus patrones.
- c) Finalmente, el test de similitud por pares (ANOSIM), que parte de una matriz de semejanza, calcula la 'fuerza' de la relación entre pares de medios, con una estimación por permutaciones.

Las variables en juego comprenden, además de la propia composición físico-química de las muestras de agua, otras características como: la localización, el tipo de sustrato, la temporalidad del agua (tabla 4.1.1.1.a) y la estación del año (tabla 5.1.2.b).

5.1.3.1. Análisis estadístico de los datos físico-químicos del agua del *recorrido habitual*

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos realizados en el *recorrido habitual* (los diez puntos con códigos de numeración entre OG-01 y OG-16) aparecen completos en el apéndice 1. Se han utilizado los datos de la tabla 5.1.2.b, que corresponden a 39 muestras de las localizaciones OG-07, OG-08, OG-09, OG-10, OG-12 y OG-14, entre agosto de 2002 y septiembre de 2003, periodo en el cual hay como mínimo cinco réplicas en cada uno de los seis lugares de muestreo y en el cual se completa un ciclo anual.

Las características ambientales incluidas en los análisis multivariantes de este bloque son: la localización, el tipo de sustrato, la temporalidad de la presencia del agua (tabla 4.1.1.1.a) y la estación del año (tabla 5.1.2.b).

5.1.3.1.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

El análisis de agrupamiento jerárquico realizado mediante el método de pares no ponderados (UPGMA, rutina SIMPROF) ha dado como resultado un árbol jerárquico que puede verse en la gráfica de la figura 5.1.3.1.1.a. Las muestras y los grupos conectados mediante una línea roja discontinua no presentan diferencias significativas entre sí, a un nivel de significación $p=0,05$. En el agrupamiento se pueden observar dos subconjuntos de muestras, denominados A y B-E, con gran homogeneidad interna en su composición físico-química.

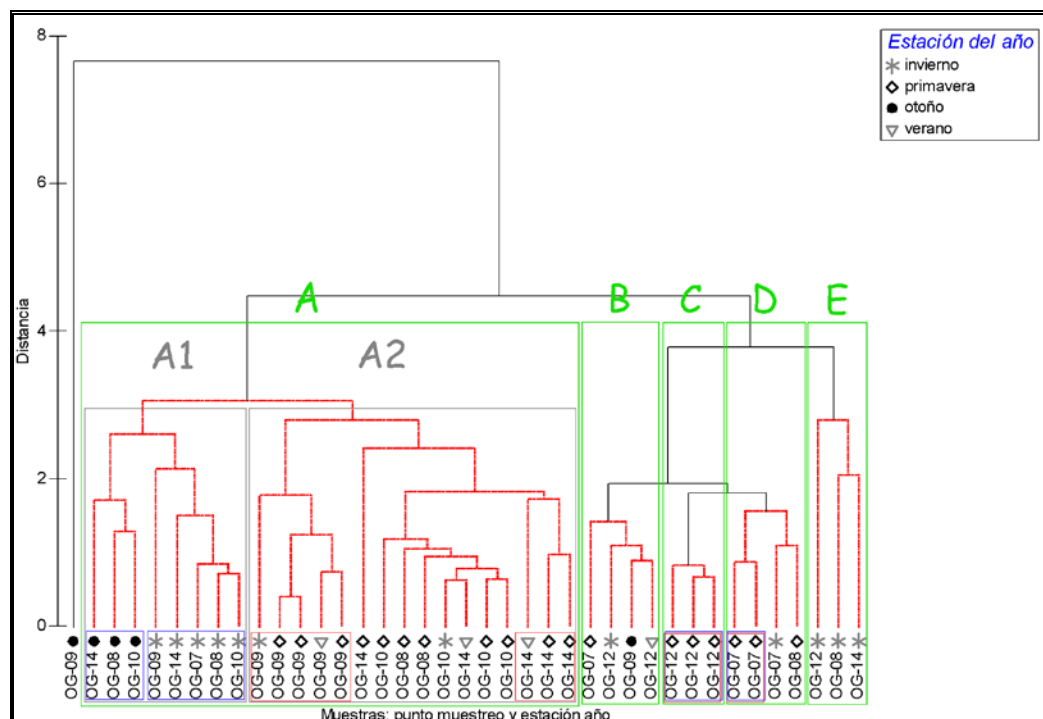


Figura 5.1.3.1.1.a. Agrupamiento jerárquico de las muestras seleccionadas del *recorrido habitual*, recogidas entre agosto de 2002 y septiembre de 2003.

En el subgrupo A aparecen el 100% de las muestras de hábitat OG-10, el 88% de OG-14 (excepto una de invierno) y el 76% de las muestras de OG-09 (excepto las dos colectadas en otoño). Dentro de este subconjunto podrían considerarse dos grupos adicionales, denominados A1 y A2, pero teniendo en cuenta que las muestras no se diferencian hasta que se rebaja el nivel de significación a $p=0,10$. El grupo A1 incluye muestras de otoño y de invierno de diferentes localizaciones y el A2, de invierno, primavera y verano. Es llamativo que las muestras corresponden en ambos casos a estaciones consecutivas, pero dada la baja significación estadística no parece razonable arriesgar una interpretación ulterior para estos agrupamientos.

El subconjunto B a E incluye el 100% de las muestras del hábitat OG-07 y las de OG-12. Utilizando el nivel de significación $p=0,05$ cabe distinguir en este subconjunto los 4 grupos, denominados B, C, D y E. El primer grupo, B, resulta paradójico y no es fácilmente interpretable, ya que incluye muestras de tres localizaciones, colectadas las cuatro en una estación del año diferente.

El grupo C está formado sólo por muestras de OG-12 colectadas en primavera y apunta a una cierta estabilidad y recurrencia estacional en este hábitat, quizás debido a su mayor tamaño.

El agrupamiento D reúne cuatro muestras de biotopos pequeños en la zona denominada 'Gour de las hojas' y cercanos entre sí, una de invierno y tres de primavera.

La unidad E está constituida por muestras de invierno, aunque de diferentes sectores de la Cavidad y distinto tamaño, por lo que no es fácil encontrar la razón de su agrupamiento.

Finalmente, hay que señalar a modo de ‘outlier’ la muestra OG-09, tomada en noviembre de 2002, que se separa significativamente de todas las demás. Dos variables tienen valores extremos en este punto: la concentración de ión Cl^- (25,7 ppm) y la concentración de ión NO_3^- (16,1 ppm). Sólo otros tres lugares de la Cavidad, que no están considerados en este agrupamiento, presentan valores tan altos como los mencionados: OG-17 que es un charco en la galería principal camino a los lagos, OG-30 y OG-34 que son un charco y una laguna pequeña, ambas camino de la Segunda Axial. Las razones de estos valores no son fáciles de adivinar.

La similitud entre diferentes localizaciones viene dictada por factores de cercanía y estacionalidad, de ahí que algunas ubicaciones tengan una composición de sus aguas más parecida a enclaves vecinos en determinados momentos del año que a sí mismos en el conjunto de las diferentes estaciones. Este es el caso de las localizaciones OG-07, OG-08, OG-09, OG-10 y OG-14 en el muestreo de invierno, que forman parte del subgrupo A1. Por un lado, OG-07, OG-08 y OG-10 se encuentran próximos espacialmente, pero la naturaleza del sustrato de los mismos es diferente; OG-09 y OG-14 también están cercanos entre ellos en el espacio, pero muy alejados de los otros tres puntos mencionados y ambos son de naturaleza muy diferente: OG-14 es un charco somero con fondo lodoso y OG-09 es un *gour* enorme y profundo.

5.1.3.1.2. Análisis en componentes principales (PCA)

En el análisis en componentes principales, realizado con los datos de la tabla 5.1.2.b, los dos primeros componentes dan razón de la mayor parte de la variación existente, en conjunto los dos componentes suman el 80,1% de la varianza (cuadro 5.1.3.1.2.a).

En este mismo cuadro se pueden observar las contribuciones de cada una de las variables estudiadas a los cinco primeros componentes. Al primer componente (CP1, 54,2% de la varianza) contribuye significativamente la variable temperatura, aunque con peso negativo -0,89, y ninguna otra variable contribuye al mismo con un peso apreciable. El segundo componente tiene como principales contribuyentes la concentración de nitratos, -0,63, la concentración de calcio, -0,45 y la concentración de bicarbonatos, -0,42, todos ellos con contribuciones negativas. La única contribución significativa al tercer componente es la de la concentración de nitratos, con un peso de 0,62.

Cuadro 5.1.3.1.2.a. Análisis en componentes principales de los datos físico-químicos de las 39 muestras de agua seleccionadas del *recorrido habitual*.

Valores propios (<i>Eigenvalues</i>)			
CP	Valores propios	%Varianza	% acumulado de varianza
1	2.1	65.7	65.7
2	0.458	14.4	80.1
3	0.269	8.4	88.5
4	0.117	3.7	92.2
5	0.108	3.4	95.6

Vectores propios (*Eigenvectors*): Coeficientes de las combinaciones lineales entre las variables en los tres primeros componentes

Variable	CP1	CP2	CP3
Tª	-0.893	0.240	0.318
pH	-0.127	0.007	-0.007
log(1+O2)	0.008	-0.023	-0.019
log(1+Cond.)	-0.237	-0.037	-0.198
log(1+CL-)	-0.023	-0.309	0.319
log(1+SO4=)	-0.045	-0.039	-0.030
log(1+NO3-)	0.053	-0.629	0.622
log(1+CO3H-)	-0.231	-0.421	-0.382
log(1+Ca++)	-0.219	-0.448	-0.370
log(1+Mg++)	-0.053	-0.167	-0.153
log(1+K+)	0.141	0.202	0.243
log(1+Na+)	-0.032	0.040	0.073

En el gráfico de sedimentación de la figura 5.1.3.1.2.a se ve que el segundo componente principal es el punto de inflexión, la pendiente desciende mucho y la línea se acerca a la horizontalidad. Siguiendo este método gráfico (Cattell, 1966 en Guisande et al. 2006), sólo cabe considerar los dos primeros componentes, descartando los que quedan a la derecha de este punto de inflexión de la gráfica. Según el criterio de la varianza, por el que se recomienda la selección de un número de componentes que expliquen entre el 80% y el 90% de la misma, se podrían considerar los tres primeros componentes. Según el criterio de *Kaiser* (componentes con un valor propio mayor que 1, Kaiser, 1960) o siguiendo el método gráfico, parece más correcto considerar únicamente los dos primeros componentes principales. En consecuencia, y utilizando un acuerdo mayoritario de criterios, únicamente analizamos los dos primeros componentes.

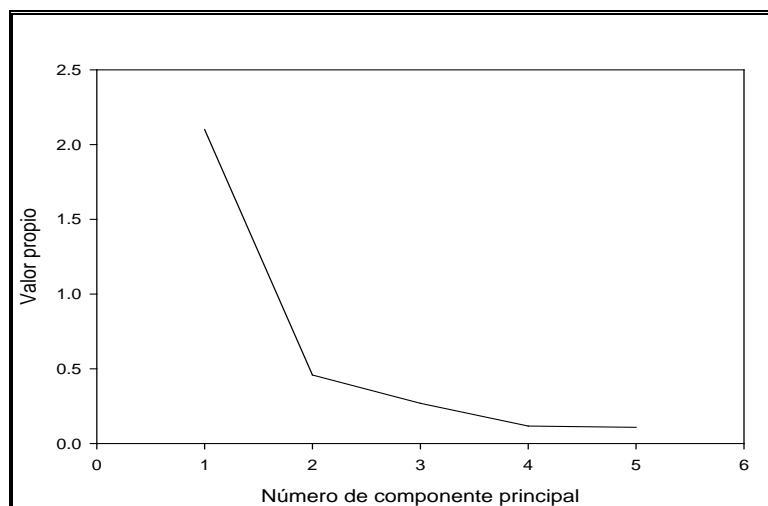


Figura 5.1.3.1.2.a. Relación entre los primeros componentes principales y su valor propio correspondiente.

Si representamos los dos primeros componentes en una gráfica bidimensional, figura 5.1.3.1.2.b, se puede apreciar una tendencia al agrupamiento de las muestras según un criterio espacial que hemos indicado por medio de ‘cercados’ de distinto color. Por otro lado, la gráfica también incluye la dimensión temporal, con símbolos que indican su pertenencia a las distintas estaciones del año. Estos ‘cercados’, que tienen siempre un cierto grado de arbitrariedad, permiten delimitar algunos grandes grupos, como las muestras de la localización OG-09 y las de OG-12, siendo esta última más definida. En ambos casos siempre hay alguna muestra que se separa del núcleo principal de su grupo, pero sin cuestionar la asociación apreciable. Con menor contraste se reúnen las muestras de OG-08 con las que se entremezcla alguna muestra de OG-14 y, finalmete, las de OG-07 y OG-10 que presentan un gran solapamiento. En este sentido, el análisis en componentes ayuda a discriminar las variables ambientales que condicionan la variabilidad del conjunto de las muestras, pero no añaden mucho más a la segmentación de las mismas en conjuntos discretos asociables a un menor número de variables que las estudiadas.

En consecuencia, con este análisis de las variables físico-químicas se refuerza la idea de la relativa homogeneidad de estos medios a lo largo del año, ya que tienden a ser más fieles a sí mismos que a otras ubicaciones, incluso aunque estén cercanas en el espacio. La temperatura, la concentración de nitratos y de bicarbonato cálcico son las 3 variables más importantes en estos medios. Finalmente, las temperaturas más bajas del agua siempre se han registrado en OG-12, uno de los lugares más ventilados de la Cavity, pero en el que también se ha registrado la mayor oscilación (tabla 5.1.1.1.a).

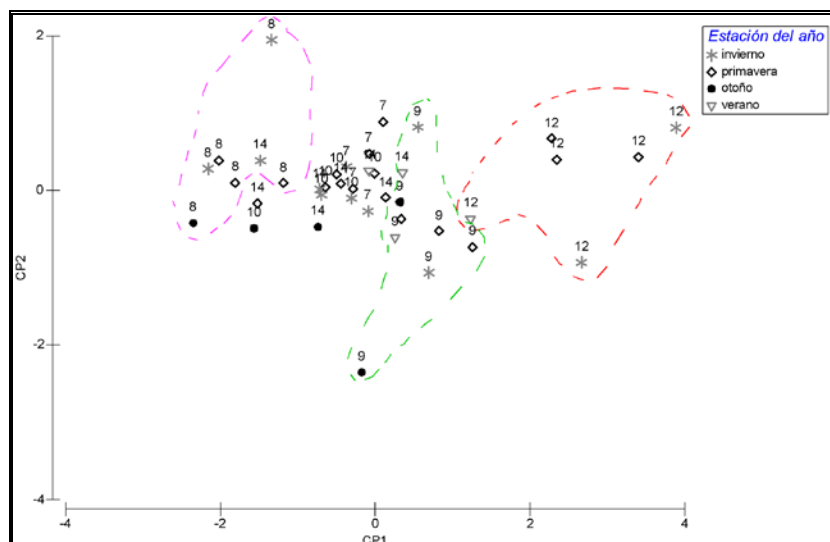


Figura 5.1.3.1.2.b. Representación del análisis en componentes principales (PCA) realizados con los datos físico-químicos de las 39 muestras de agua del *recorrido habitual*.

5.1.3.1.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

A fin de encontrar un patrón que diera mayor sentido a la variabilidad de las localizaciones estudiadas, se ha realizado un análisis de ordenación no paramétrica, utilizando también los datos de la Tabla 5.1.2.b. El resultado del análisis se puede ver de forma gráfica en la figura 5.1.3.1.3.a.

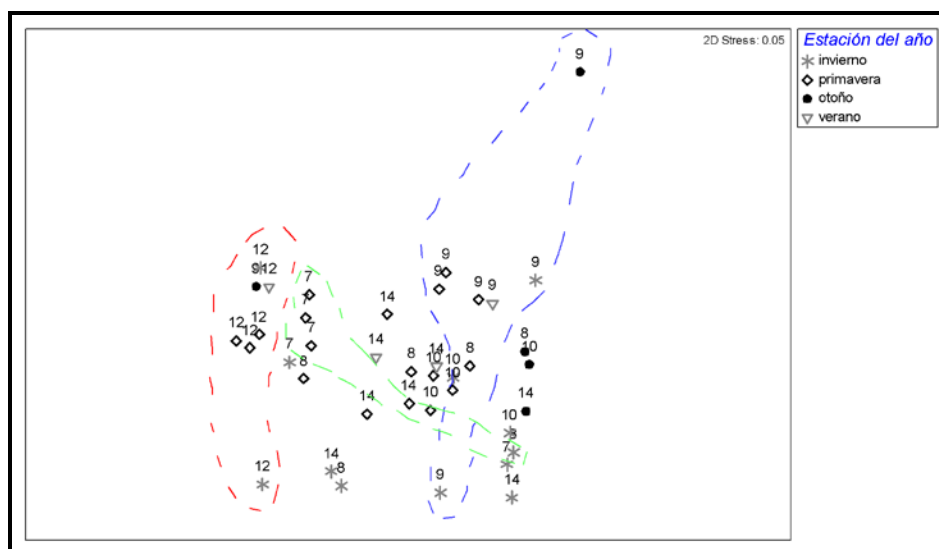


Figura 5.1.3.1.3.a. Análisis multidimensional no paramétrico de los datos físico-químicos del agua de las muestras del *recorrido habitual* de Ojo Guareña.

Aunque la ordenación presenta poca deformación según el criterio de stress (stress=0,05: excelente, en la escala propuesta por Rohlf, 1992) los grupos diferenciados son

de nuevo los pertenecientes a la localización OG-12 y OG-09, además de los pertenecientes a OG-07. El criterio principal de demarcación es la cercanía espacial en la Cueva. El único eje temporal es el que enfrenta a las muestras de primavera con las de invierno, estando éstas últimas en la parte inferior de la gráfica. Sin quedar opuesta a otra estación, sin embargo, las muestras de otoño se sitúan todas a la derecha del gráfico. En este sentido sí cabe decir que hay un efecto ‘estacional’, pero no lo suficientemente fuerte como para imponerse al efecto de la cercanía espacial en la Caverna.

5.1.3.1.4. Análisis de similitud (ANOSIM)

El análisis de similitud por pares, ANOSIM, es una técnica que permite profundizar en las semejanzas y diferencias entre muestras dentro de biotopos, consiguiendo información sobre dos aspectos importantes:

- a. si la semejanza entre las muestras de un biotopo es significativamente mayor entre sí que con las de otro biotopo y
- b. el grado de ‘fuerza’ de esa semejanza, o de forma más precisa, si esa semejanza es significativamente diferente.

Se ha realizado este análisis utilizando los datos de la tabla 5.1.2.b, siendo las similitudes analizadas los conjuntos de muestreos dentro de cada localización o hábitat. Los resultados del análisis se resumen en el cuadro 5.1.3.1.4.a. El índice R para el conjunto de hábitat es de 0,33, significativo para $p=0,001$. Esto nos indica que hay diferencias entre pares que deben ser analizadas individualmente. En la tabla mencionada se han indicado en negrita aquellos pares que han dado un valor de R significativo. Recordando que R -a todos los efectos- puede tomar valores entre 0 y 1, y que cuanto más cerca esté de 1 más semejantes serán las muestras de una localización entre sí, los pares siguientes son los que más diferencia presentan: OG-10, OG-12 con $R=0,948$ y $p<0,01$; OG-12, OG-14 con $R=0,724$ y $p<0,01$; OG-08, OG-12 con $R=0,663$ y $p<0,01$; OG-07, OG-10 con $R=0,629$ y $p=0,01$; OG-09, OG-12 con $R=0,497$ y $p=0,01$. Este análisis destaca el hábitat OG-12 como el más singular del conjunto de hábitat del *recorrido habitual*.

Los factores que pueden justificar esta diferencia pueden ser: gran tamaño del hábitat, que se encuentra en una galería muy ventilada de la cueva, que tiene un fondo rocoso y que tiene agua permanentemente, con un nivel muy estable. También es llamativa la diferencia entre las muestras de OG-07 y OG-10, ambos situados muy cercanos entre sí y con OG-08 y OG-15. Tanto el hábitat OG-07, como el OG-10 son charcos temporales, sin embargo OG-07 es de tamaño reducido, fondo marcadamente lodoso y temporalidad muy marcada, mientras que el hábitat OG-10, aún compartiendo estas características, lo es en menor cuantía. Es decir, tiene una permanencia mayor que OG-07, y su temporalidad se podría denominar como

‘ocasional’. Además, aún siendo lodoso, no lo es en el grado que el OG-07, ya que comparte lodo con el sedimento de piedra y arena. Finalmente, OG-10 es profundo si lo comparamos con el OG-07, que es un charco somero. De estas características deben depender las diferencias encontradas entre estos dos hábitat, lo cual es algo importante si pensamos en la concepción tradicional de cuevas como medios estables. En nuestro caso, en un espacio relativamente pequeño, una sala o ensanchamiento de la cueva donde se encuentran varios hábitat a distancias de centímetros, sin embargo se dan diferencias muy marcadas como el análisis de ANOSIM pone de manifiesto.

Cuadro 5.1.3.1.4.a. Análisis de similitud de las 39 muestras de agua seleccionadas del *recorrido habitual* en función de los datos físico-químicos según el punto de muestreo.

Diferencias entre los grupos de PUNTOS DE MUESTREO				
Índice del conjunto (R global): 0.328				
Nivel de significación: p=0,001				
Análisis de pareados				
Grupos	Estadístico R	Significación valor p	Permutaciones posibles	Permutaciones reales
7, 8	0.173	0.12	462	462
7, 9	0.101	0.19	1287	999
7, 10	0.629	0.01	462	462
7, 12	0.165	0.08	462	462
7, 14	0.313	0.03	1287	999
8, 9	0.11	0.13	3003	999
8, 10	0.03	0.32	462	462
8, 12	0.663	<0.01	462	462
8, 14	0.024	0.34	3003	999
9, 10	0.247	0.02	3003	999
9, 12	0.497	<0.01	3003	999
9, 14	0.272	<0.01	6435	999
10, 12	0.948	<0.01	462	462
10, 14	0.106	0.13	3003	999
12, 14	0.724	<0.01	3003	999

También se ha realizado un análisis ANOSIM dispuestas las mismas muestras según el periodo de residencia del agua en cada hábitat, creando las siguientes categorías: menor a 3 meses (A), de 3-5 meses (B) [sin representante en este caso], de 6-8 meses (C), de 9-11 meses (D) y permanentes (E). En este análisis se detectan diferencias entre las muestras de menor permanencia (A) y las de permanencia media (C): R=0,629 y p=0,01, es decir entre OG-07 y OG-10, lo cual no es de extrañar pues se diferenciaban claramente en el análisis anterior. Ninguna de las otras localizaciones se diferencia según este criterio.

Otra forma de realizar el análisis ANOSIM ha sido clasificando las muestras con un criterio de estacionalidad. De esta forma se constituyen cuatro grupos de muestras que corresponden a: primavera (A), verano (B), otoño (C) e invierno (D). Este análisis detecta una

diferencia significativa entre las muestras de primavera (A) y otoño (C), $R=0,413$ y $p<0,01$ y entre las muestras de primavera (A) e invierno (D), $R=0,257$ y $p<0,01$. Es llamativo, pues, que también en este caso no parece haber una estabilidad temporal, sino que la composición química de los hábitat evoluciona a medida que pasa el tiempo, distinguiéndose significativamente muestras tomadas en estaciones del año con un lapso temporal de sólo unos pocos meses (primavera-otoño).

Finalmente, se ha realizado otro ANOSIM, considerando la agrupación espacial de las localizaciones. Las muestras se han asociado al sector de la cueva al que pertenecen: Gours de las Hojas (A: OG-07, OG-08, OG-10), Entrada Palomera (B: OG-09, OG-14) y Galería Italianos (C: OG-12). El resultado de este análisis muestra la diferencia significativa entre los hábitat de Gours de las Hojas y el hábitat en la Galería Italianos con $R=0,451$ y $p<0,01$ y también entre las muestras de la Entrada Palomera con la muestra de la Galería Italianos con $R=0,411$ y $p<0,01$. Este resultado refuerza la singularidad del hábitat en la Galería Italianos (OG-12), que ya hemos señalado al hablar de las características físicas y localización de este hábitat.

5.1.3.2. Análisis estadístico de la físico-química del recorrido ocasional

Todos los resultados de los análisis físico-químicos realizados en las muestras de agua del “recorrido ocasional” (con numeración comprendida entre OG-17 y OG-54) están recogidos en el apéndice 1.

Tabla 5.1.3.2.a. Propiedades ambientales asociadas a los puntos de muestreo del recorrido esporádico de la cueva Palomera.

Punto	Número de muestras	Sector de la cueva	Naturaleza del hábitat	Permanencia del agua
OG-18	3	Central	<i>Gour</i>	3
OG-19	3	Central	Charco	4
OG-20	1	Central	<i>Gour</i>	3
OG-21	1	Central	<i>Gour</i>	4
OG-39	1	Torcona	Marmita	5
OG-40	1	Torcona	Marmita	5
OG-41	1	Torcona	Marmita	5
OG-42	1	Torcona	Charco	5
OG-43	1	Torcona	Marmita	5
OG-44	1	Torcona	Marmita	5
OG-17	1	Dédalo Oeste	Charco	1
OG-50	1	Dédalo Oeste	Charco	3
OG-51	1	Dédalo Oeste	Charco	3
OG-52	1	Dédalo Oeste	<i>Gour</i>	3
OG-53	1	Dédalo Oeste	Charco	3
OG-54	1	Dédalo Oeste	Charco	2

Hay veinte muestras con los datos completos de todas las variables: ocho muestras del sector Central (OG-18 a OG-21), seis muestras de la Torcona (de OG-39 a OG-44) y seis muestras procedentes del Dédalo Oeste (OG-17 y OG-50 a OG-54). En el análisis se han incluido además características ambientales como permanencia del agua, tipo de sustrato en cada uno de los hábitat y localización en la Cavidad (tabla 5.1.3.2.a).

5.1.3.2.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

El árbol jerárquico obtenido como resultado del análisis de agrupamiento, realizado mediante el método de pares no ponderados (UPGMA, rutina SIMPROF) se representa en la figura 5.1.3.2.1.a. Aquellas muestras y grupos de muestras que conectan mediante una línea roja discontinua no tienen diferencias significativas entre sí ($p=0,05$). El agrupamiento permite distinguir tres grandes agrupamientos, que hemos denominado A, B y C y tres muestras adicionales que figuran aisladas. No parece que las muestras se agrupen atendiendo a un criterio de hábitat. Así, en el subconjunto C hay muestras de *gours* y de charcos que no se pueden diferenciar conforme a otros criterios. En el grupo A sólo hay nueve muestras de charco, pero en el ‘lote’ restante no hay muestras de *gours* adicionales que agrupar, salvo la muestra de OG-52. Algo semejante cabe decir del subconjunto B, con dos muestras. Si la naturaleza del enclave no parece ser el criterio por el que se define la similitud entre ellos, tampoco merece la pena acudir a un criterio de estacionalidad, ya que casi todas las muestras se tomaron en la misma estación del año. Si consideramos el factor ‘ubicación’ o situación en la Cueva, el grupo A contiene cinco de las seis muestras (83%) de La Torcona y cuatro de las cinco muestras (80%) del Dédalo Oeste, que aún siendo charcos y marmitas con una cierta variabilidad en características como temporalidad del agua o el tamaño, sin embargo son muy semejantes en su composición físico-química. La zona de La Torcona y el Dédalo Oeste están dispuestas en una misma línea de circulación del agua subterránea, según Eraso *et al.*, 2001, que va desde el Dédalo Oeste en dirección al Sector Resurgencia-Torcona.

Las muestras del Sector Central se reparten en el grupo B (OG-20 y OG-21) y el grupo C (las seis muestras de OG-18 y OG-19). Las muestras del grupo B pertenecen a las dos localizaciones citadas que se encuentran próximas en el extremo oriental, dos *gours* que se rellenan por goteo. Las muestras del grupo C, por el contrario, se colectaron en puntos de diferente naturaleza, en OG-18 hay unos *gours* amplios y someros y en OG-19 hay un pequeño lago profundo. Estas dos ubicaciones son de lecho rocoso, prácticamente sin sedimento y se encuentran muy próximas, a unos pocos metros de distancia. Precisamente, la cercanía parece ser el factor que puede dar cuenta de su semejanza.

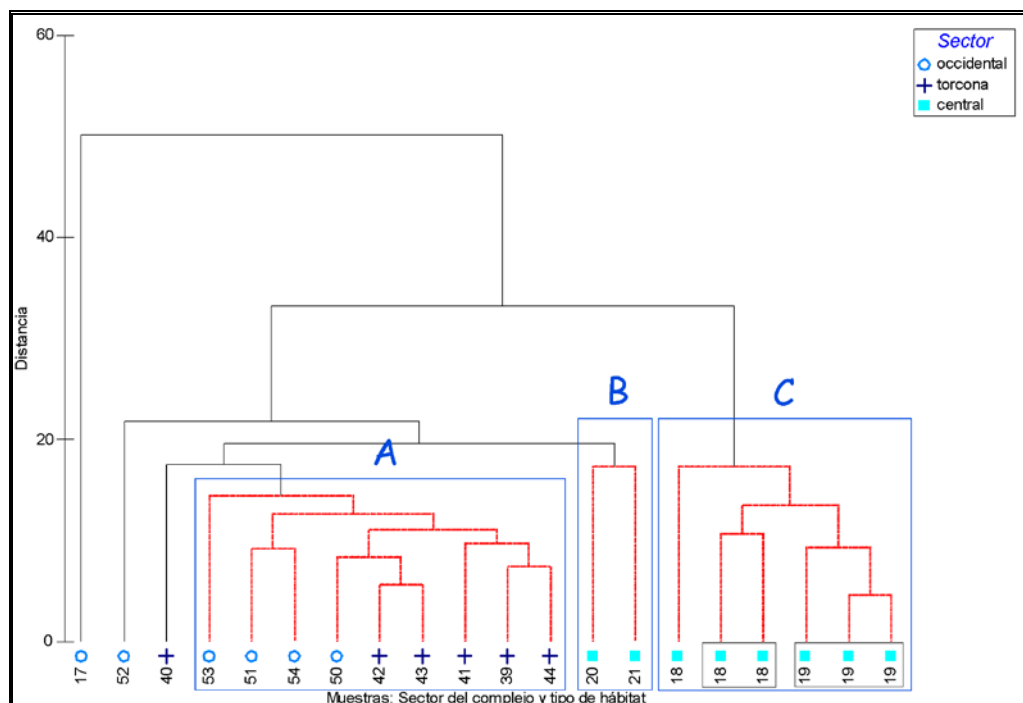


Figura 5.1.3.2.1.a. Agrupamiento jerárquico de las muestras de físico-química del recorrido ocasional de Ojo Guareña. Se indican el tipo de hábitat y el sector de la cueva al que pertenece cada uno de ellos.

Finalmente hay que señalar tres muestras que actúan a modo de *outlier*: una colectada en el charco de OG-17, muy somero y retirado del resto de localizaciones de muestreo esporádico, en la Galería Italianos, otra en una marmita en OG-40, en la Torcona y la tercera de un *gour* situado en OG-52, en el Dédalo Oeste. Estas tres muestras son las únicas de este conjunto de medios, que tienen una concentración de $\text{SO}_4^{=}$ superior a 14 ppm, alcanzando un valor de 20,45 mg/l en OG-40, en la que también se midió la menor saturación de O_2 , un 29% sat. O_2 . La muestra de OG-17 destaca por ostentar el mayor valor de concentración de NO_3^- (49,2 mg/l), sólo superado por una muestra de todo el conjunto de Palomera (OG-30 en la Galería de Italianos, 54,63 mg/l). En el conjunto de muestras de la Cavidad hay una concentración media de NO_3^- de 3,7 mg/l y con un coeficiente de variación de 2,18. Con una sola muestra en estas localizaciones es difícil aventurar si esas concentraciones excepcionales reponen a un suceso casual o se deben a un factor constante de la Cueva en ese sector.

En conclusión, cabe decir que la similitud entre los hábitat considerados está determinada, en un caso, por la dirección de flujo del agua subterránea y en otro, por la proximidad espacial. Es decir, algunas muestras que están alejadas dentro de la Cavidad (muestras de la Torcona y muestras del Dédalo Oeste) tienen mayor homogeneidad debido a la conectividad de sus aguas, mientras que en las ubicaciones que se sitúan en el Sector Oriental tiene mayor influencia la cercanía geográfica de los puntos de muestreo.

5.1.3.2.2. Análisis en componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales se ha realizado sobre el mismo conjunto de datos que en el análisis anterior, tabla 5.1.3.2.a. En el cuadro 5.1.3.2.2.a. puede observarse que los tres primeros componentes dan razón de la mayor parte de la variación existente (90% de la varianza total).

Cuadro 5.1.3.2.2.a. Análisis en componentes principales de los datos físico-químicos de las muestras de agua del recorrido ocasional.

Valores propios (<i>Eigenvalues</i>)			
CP	Valores propios	%Varianza	% acumulado de varianza
1	1.320	51.1	51.1
2	0.815	31.6	82.7
3	0.189	7.3	90.0
4	0.113	4.4	94.4
5	0.054	2.1	96.5

Vectores propios (*Eigenvectors*): Coeficientes de las combinaciones lineales entre las variables en los tres primeros componentes.

Variable	CP1	CP2	CP3
T^a	-0.689	0.666	0.165
pH	0.057	-0.011	-0.065
log(1+O ₂)	0.089	-0.067	0.332
log(1+Cond.)	-0.017	-0.119	-0.112
log(1+Cl ⁻)	0.064	0.041	0.032
log(1+SO₄²⁻)	-0.336	-0.133	-0.738
log(1+NO₃⁻)	-0.594	-0.706	0.326
log(1+CO ₃ H ⁻)	0.052	-0.070	-0.165
log(1+Ca ²⁺)	0.036	-0.105	-0.239
log(1+Mg ²⁺)	-0.040	-0.053	0.181
log(1+K ⁺)	-0.195	-0.004	-0.272
log(1+Na ⁺)	0.028	0.026	0.048

En la representación de la figura 5.1.3.2.2.a, en la cual se ve el gráfico de sedimentación donde aparece la evolución del valor propio en función del número de componente principal, se observa un cambio brusco en la pendiente a partir del tercer componente. Por el criterio de la varianza (componentes que suman entre el 80 y el 90% de la varianza) también se recomienda considerar al menos los dos primeros componentes o, más convenientemente, los tres primeros. Por unanimidad de ambos criterios se analizan los tres primeros componentes, con los que se explica el 90% de la variabilidad.

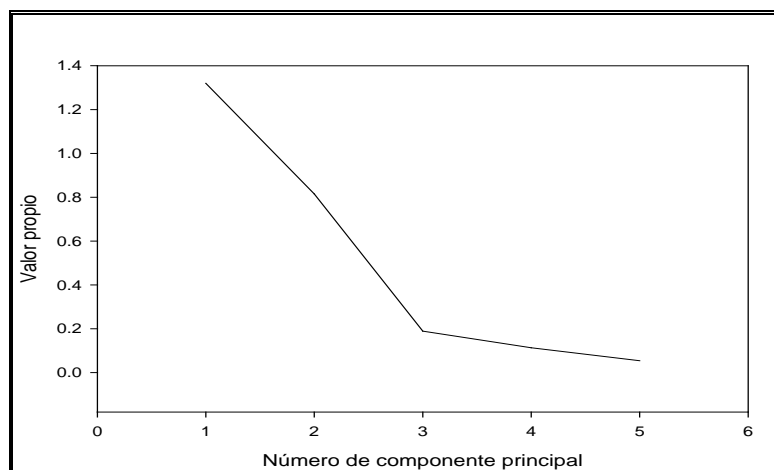


Figura 5.1.3.2.2.a. Relación entre los primeros componentes principales y su valor propio correspondiente para las muestras de estudio físico-químico del recorrido ocasional de Palomera.

La contribución de las variables a los cinco primeros componentes se refleja en la misma tabla del cuadro 5.1.3.2.2.a. Destacan las contribuciones al primer componente de la temperatura y la concentración de nitratos, con un peso negativo de -0,69 y -0,59, respectivamente. El segundo componente también tiene una contribución elevada de la concentración de nitratos, con un peso de -0,71, y de la temperatura, 0,67. El tercer componente está dominado por la concentración de sulfatos, cuya contribución tiene un valor negativo de -0,74.

Para una interpretación más sencilla de la distribución espacial de los datos se representan las muestras en dos dimensiones, considerando los dos primeros componentes (figura 5.1.3.2.2.b). En este gráfico se observa una segregación de las muestras en tres grupos bien definidos según la situación espacial de la localización, que se han limitado con líneas azules de distinta tonalidad. La posición de los lugares de muestreo se ha definido en función de los sectores que ocupan, según se incluyen en la publicación del G.E. Edelweiss de 1986. Aunque los ‘cercados’ representados tengan un cierto grado de arbitrariedad, las muestras aparecen muy bien delimitadas:

- a) las muestras del Sector Central se disponen a un lado de la gráfica, en la parte central derecha,
- b) las muestras de La Torcona y el Dédalo Oeste quedan desplazadas hacia la parte superior e izquierda, estos dos conectados por la dirección de flujo de las aguas subterráneas, como se ha comentado en el análisis anterior.

En esta gráfica también se observa una conjunción de las muestras según la naturaleza del hábitat: las muestras de *gour* aparecen en la franja central, dentro de la línea discontinua verde, las de marmitas están incluidas en la zona delimitada para La Torcona (en azul marino) y el resto de las muestras, procedentes de charcos, están en el resto del espacio,

predominantemente en la mitad superior del gráfico, salvo la única muestra tomada en OG-17, en septiembre de 2003, que es un charco muy retirado del resto de los hábitat, muy somero y de fondo arenoso.

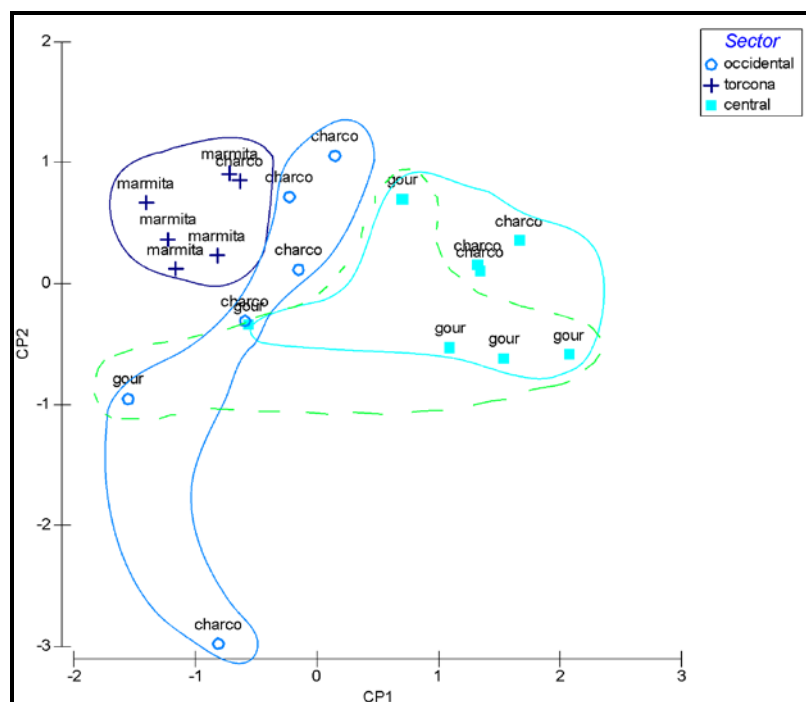


Figura 5.1.3.2.2.b. Representación gráfica del resultado del análisis en componentes principales de los datos de físico-química del recorrido ocasional de Palomera. Se indica la naturaleza y se delimita la localización del hábitat donde se tomó cada una de las muestras.

La distribución de las muestras parece tener una explicación más clara desde una perspectiva espacial, a pesar de observarse un agrupamiento en función de la naturaleza del hábitat. El origen del agua de recarga influye en la variabilidad de su composición, sin embargo, con los datos disponibles resulta más sencillo explicar las diferencias de composición del agua en base a: concentración de NO_3^- , temperatura y concentración de $\text{SO}_4^{=}$.

Las muestras de la Torcona tienen una temperatura muy similar, entre 10,3 y 10,7 °C, las muestras del Dédalo Oeste tienen una media que no alcanza los 10°C (9,7°C) y las del Sector Central tienen una media de 8,7°C. En el caso de la concentración de NO_3^- , sin embargo, destaca La Torcona (media de 18,33 mg/l) sobre los otros dos sectores (Dédalo Oeste 2,05 mg/l y Sector Central 1,65 mg/l). Las muestras de La Torcona y del Dédalo Oeste también muestran una concentración de $\text{SO}_4^{=}$ elevada, con más variación que en el caso del Sector Central: La Torcona, 10,9 ppm y CV=4,97, Dédalo Oeste, 5,76 mg/l y CV=0,79 y Sector Central, 1,82 mg/l y CV=0,38.

5.1.3.2.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

Se ha realizado el análisis de ordenación no paramétrica con la finalidad de apreciar otros patrones, si los hubiera, como por ejemplo en función de la naturaleza del hábitat o de la permanencia de las aguas a lo largo del año. Para este análisis también se han utilizado los datos completos obtenidos para las localizaciones de la tabla 5.1.3.2.a. El resultado del análisis se puede ver gráficamente en la figura 5.1.3.2.3.a. La ordenación tiene una deformación muy escasa según el criterio de 'stress' (stress=0,03: *excelente* en la escala de Rohlf, 1992). Los grupos que se distinguen aquí son semejantes a los representados en el análisis de componentes principales, aunque en este caso las muestras del Sector Central segregan mejor, mientras que las del Dédado Oeste y Sector Resurgencia-Torcona siguen apareciendo muy próximas. Las muestras aparecen circunscritas a tres grupos que están marcados con una línea azul. Así, el criterio más claro de delimitación es la proximidad espacial, a pesar de que también se puede ver un cierto orden según la naturaleza del hábitat (muestras de *gours* englobadas por la línea verde discontinua, marmitas dentro de la línea azul oscuro y el resto muestras de charcos), pero no con tanto peso como la cercanía.

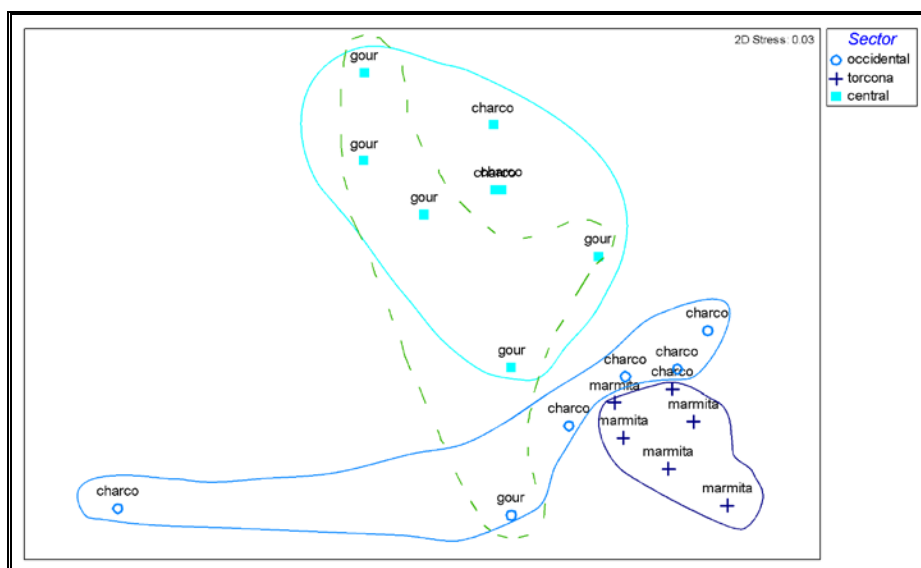


Figura 5.1.3.2.3.a. Representación de la ordenación no paramétrica multidimensional de los datos físico-químicos del agua de las muestras del recorrido ocasional en la cavidad principal.

5.1.3.2.4. Análisis de similitud (ANOSIM)

Se ha realizado el análisis de similitud por pares para examinar con más detalle la fuerza de la similitud dentro y entre los hábitat. Los análisis se han realizado con los datos completos disponibles de las localizaciones de la tabla 5.1.2.b.

Los resultados del análisis son los que aparecen en el cuadro 5.1.3.2.4.a. El índice ‘R’ para el conjunto de los hábitat es de 0,56, significativo para $p=0,001$, lo cual indica que hay diferencias entre pares que se deben revisar a modo particular. En la tabla se indican en negrita los pares que tienen un índice R elevado y significativo. Como se apuntó anteriormente, el índice R puede oscilar entre 0 y 1, indicando una mayor semejanza interna en cada grupo que entre los elementos de los grupos comparados cuando más se aproxima a 1 su valor.

En este caso, las localizaciones que más se diferencian son las del Sector Central y las de La Torcona, con un índice $R=0,86$ para $p=0,003$ y las del Dédalo Oeste y el Sector Central, $R=0,61$ para $p=0,001$. En este análisis se manifiestan más claramente las diferencias en cuanto a composición físico-química entre las muestras del Sector Central-Oriental (camino de Los Lagos, muestras OG-18 a OG-21), con el resto procedente de otras localizaciones (Dédalo Oeste, Segunda Axial y Sector Resurgencia-Torcona).

Al analizar las muestras en función de la naturaleza del sustrato (charco, marmita y *gour*), el índice R cae hasta un valor de 0,18 para $p=0,03$. Son unas diferencias estadísticamente significativas, pero de poco peso.

Cuadro 5.1.3.2.4.a. Resultado del análisis de similitud de las muestras de agua del recorrido ocasional de Palomera en función los datos físico-químicos según el sector de la Cueva al que pertenecen los puntos de muestreo.

Diferencias entre los grupos de SECTOR DE LA CUEVA				
Índice del conjunto (R global): 0.558				
Nivel de significación: $p=0,001$				
Análisis de pareados				
Grupos	Estadístico R	Significación valor p	Permutac. posibles	Permutac. reales
Occidental, Central	0.609	0.001	3003	999
Occidental, Torcona	0.263	0.002	462	462
Central, Torcona	0.859	0.003	3003	999

En su conjunto, todas las localizaciones del “recorrido ocasional” presentan un valor global de R (0,56 para $p=0,001$) mayor que el grupo de estaciones del *recorrido habitual*. La mayor diferencia está entre las muestras del sector Central y las de Resurgencia-Torcona, con un índice $R=0,86$ y un $p=0,003$ y con las muestras del Dédalo Oeste tienen un índice $R=0,61$ y $p=0,001$.

Por tanto, al ampliar la superficie analizada, se observa un cambio en el patrón de las variables físico-químicas, que se explica mejor por el sentido de circulación general de las aguas subterráneas en el complejo kárstico, de noroeste a sureste. Estas líneas de flujo comunican más directamente las aguas del Dédalo Oeste y las del Sector Resurgencia-

Torcona, antes que la comunicación con el Sector Central, el cual está más próximo espacialmente.

5.1.3.3. Análisis estadístico de la físico-química del conjunto, recorridos habitual y ocasional de Palomera

Para contrastar los resultados obtenidos independientemente en los dos bloques de análisis de Palomera (recorridos habitual y ocasional), en este apartado se consideran todos los datos en su conjunto. Se han incluido todas las muestras de la cavidad principal de Ojo Guareña que tienen los datos de los análisis físico-químicos completos (91 muestras de las localizaciones con numeración entre OG-01 y OG-54).

5.1.3.3.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

El análisis de agrupamiento jerárquico con los datos físico-químicos del conjunto de muestras de Palomera ha dado como resultado la clasificación que se presenta en la figura 5.1.3.3.1.a. Como en análisis anteriores, el encadenamiento por líneas rojas expresa agrupamiento que no se pueden distinguir significativamente. Hay tres grupos de muestras que se indican en el gráfico, delimitados con un marco verde y etiquetados como A, B y C. Los tres grupos contienen una mezcla heterogénea de muestras, aunque se puede destacar lo siguiente:

- a) en el grupo A sólo están representadas dos localizaciones, OG-12 y OG-16, que están relativamente cercanas. De la primera quedan incluidas muestras de invierno y primavera, y de la segunda las dos muestras que se tomaron en invierno. En todo el conjunto de muestras analizado hay dos más de OG-12, pero corresponden a otoño. Este grupo destaca por ostentar las temperaturas más bajas de las aguas estudiadas en Palomera, incluyendo la mínima en OG-12, 4,7°C medidos el 25 de enero de 2003. Para el resto de variables existen unos márgenes de oscilación mayores y no se observa un distanciamiento del conjunto. Los dos lugares se encuentran en zonas muy ventiladas de la Cueva y tienen un sustrato rocoso, aunque con algunas diferencias: OG-12 es un charco grande de agua permanente, que se sitúa sobre la roca madre y OG-16 es un charco de permanencia breve, que llega a ser de grandes dimensiones en la época de crecida y está tapizado por rocas depositadas en la Galería Principal.
- b) En el grupo B hay una gran heterogeneidad de muestras por la naturaleza del hábitat y por la localización, pero hay que destacar que contiene todas las muestras de OG-09 (doce muestras).
- c) En el grupo C están incluidas las muestras colectadas en el Dédalo Oeste y en el Sector Resurgencia, del mismo modo que ocurre en el análisis individual del

“recorrido ocasional”, con la diferencia de que ahora se incorporan a este agrupamiento las muestras de OG-20 y OG-21.

Las variables se mueven en unos márgenes pequeños de variación en el complejo kárstico en conjunto. Considerando un número reducido de localizaciones, puede haber diferencias significativas entre hábitat que están muy cercanos que los conduzca a ligarse a diferentes grupos. Pero cuando se considera un número mayor de lugares en la cueva, a pesar de la heterogeneidad local, puede haber puntos distantes que coincidan en su composición físico-química, ya que a fin de cuentas se trata de una unidad geológica y el conjunto comparte unas características determinadas. En consecuencia, hay localizaciones que pueden ser más parecidas a otras alejadas que a las que están más próximas en un mismo sector, incluso en una misma galería.

Se han considerado otras características, como la permanencia del agua en los charcos y la disposición espacial de las localizaciones (según los puntos cardinales y según los sectores descritos en G.E. Edelweiss, 1987), pero sin haber mostrado pautas más claras que las que se observan con la estación del año y las localizaciones de muestreo independientes.

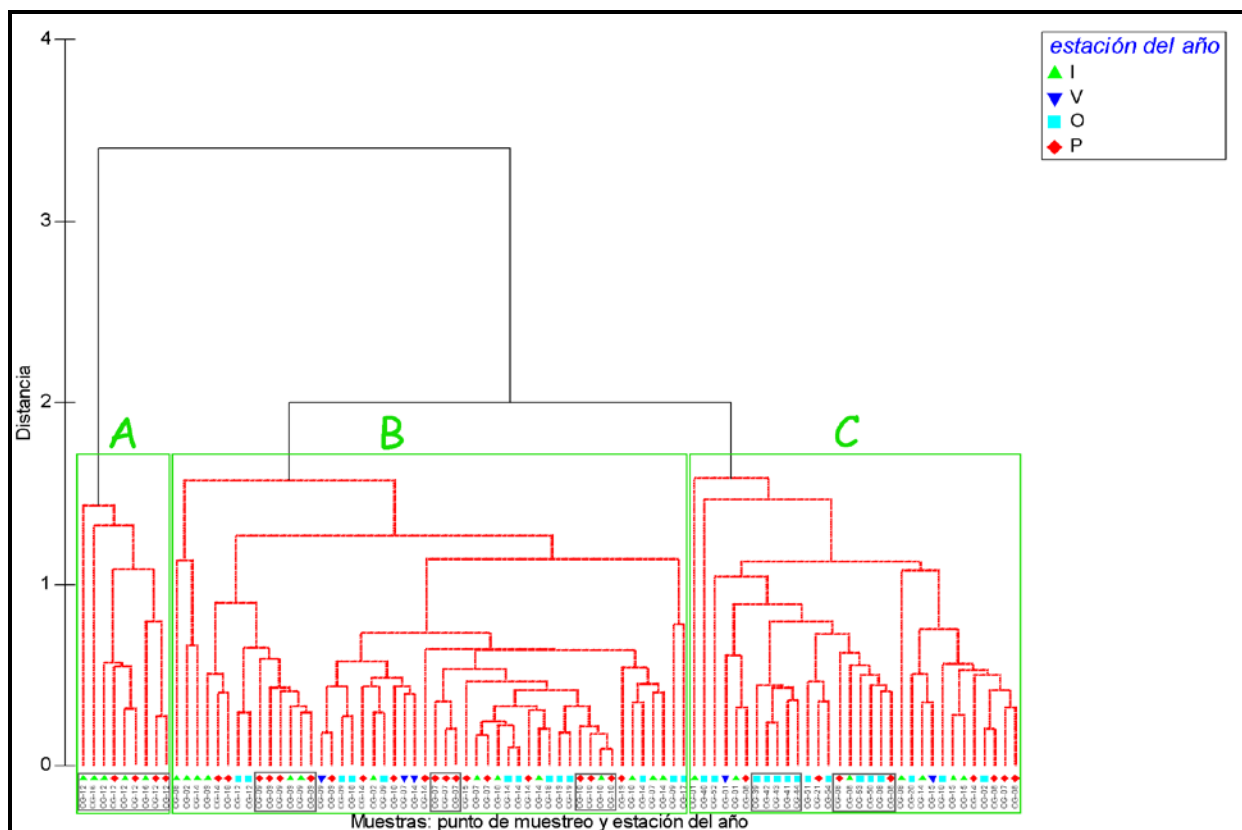


Figura 5.1.3.3.1.a. Agrupamiento del conjunto de las muestras de agua de Palomera, *recorrido habitual* y recorrido esporádico, en función de la composición físico-química. Se indican el número del punto de muestreo y la estación del año en que se tomó cada una de las muestras.

Por tanto, no se ha hallado un patrón espacial o temporal tan claro como al contemplar exclusivamente las del *recorrido habitual*. El número de réplicas de muestras en el *recorrido habitual* y en el ocasional es desigual y como se ha visto en el análisis del *recorrido habitual*, pueden darse patrones físico-químicos que cambian a microescala, en distancias de unos pocos metros. Así, puede haber paralelismo entre hábitat distantes, compartiendo unas características de composición físico-química de sus aguas. Por estas razones resulta complicada la interpretación de los datos en su conjunto.

5.1.3.3.2. Análisis en componentes principales (PCA)

El análisis en componentes principales con todos los datos disponibles de Palomera da como resultado los componentes principales y la contribución de las variables a cada uno de ellos que se reflejan en las tablas del cuadro 5.1.3.3.2.a.

Cuadro 5.1.3.3.2.a. Resultado del análisis en componentes principales de los datos físico-químicos de las muestras del conjunto de Palomera (recorridos habitual y ocasional).

Valores propios (<i>Eigenvalues</i>)			
CP	Valores propios	%Varianza	% acumulado de varianza
1	3.23	26.9	26.9
2	1.91	15.9	42.8
3	1.38	11.5	54.3
4	1.34	11.2	65.5
5	1.06	8.9	74.4

Vectores propios (*Eigenvectors*): Coeficientes de las combinaciones lineales entre las variables en los tres primeros componentes.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T ^a	-0.257	0.028	0.556	-0.184	-0.295
pH	-0.137	0.168	0.167	-0.075	0.774
log(1+O ₂)	-0.102	0.110	-0.625	-0.293	-0.121
log(1+Cond.)	-0.460	0.072	0.218	-0.149	-0.096
log(1+Cl ⁻)	-0.140	-0.380	-0.167	-0.239	0.413
log(1+SO ₄ ²⁻)	0.044	-0.489	0.323	0.153	0.062
log(1+NO ₃ ⁻)	0.012	-0.534	-0.047	0.293	0.057
log(1+CO ₃ H ⁻)	-0.510	-0.021	-0.108	0.150	-0.114
log(1+Ca ²⁺)	-0.497	-0.020	-0.097	0.223	-0.088
log(1+Mg ²⁺)	-0.231	-0.422	-0.244	-0.004	-0.090
log(1+K ⁺)	0.320	-0.267	0.043	-0.257	-0.289
log(1+Na ⁺)	-0.093	-0.187	0.086	-0.740	0.015

Como se puede observar, con los cinco primeros componentes se alcanza un 74,4% de la varianza total explicada. En el análisis independiente de los dos conjuntos de Palomera, el

recorrido habitual y el esporádico, basta con los dos primeros componentes para explicar más del 80% de la variación, lo que nos confirma que en este caso nos encontramos con un conjunto más heterogéneo y de análisis más complejo. Se indican en **negrita** las mayores contribuciones de las variables a cada uno de los componentes: el primero de ellos está fuertemente influenciado por la concentración de bicarbonatos, y en menor grado, por la del ión calcio y la conductividad; la concentración de nitratos es la variable más importante para el segundo componente, y en menor medida, el ión sulfato y el ión magnesio; para los restantes componentes, la temperatura, la saturación de oxígeno en disolución, la concentración de sodio y el pH son las variables que tienen importancia.

En la figura 5.1.3.3.2.a se representa gráficamente la ordenación de las muestras en función de los dos primeros componentes. La temperatura, que es una variable importante en el análisis en el *recorrido habitual*, sin embargo en este caso sólo tiene un cierto peso en el tercer componente y explica un 11,5 de la varianza de los datos. Las concentraciones de bicarbonatos y de nitratos tienen una importancia equivalente en la variabilidad de ambos conjuntos de datos. En este último análisis -conjunto de Palomera-, el oxígeno tiene cierta importancia en la variabilidad de las muestras.

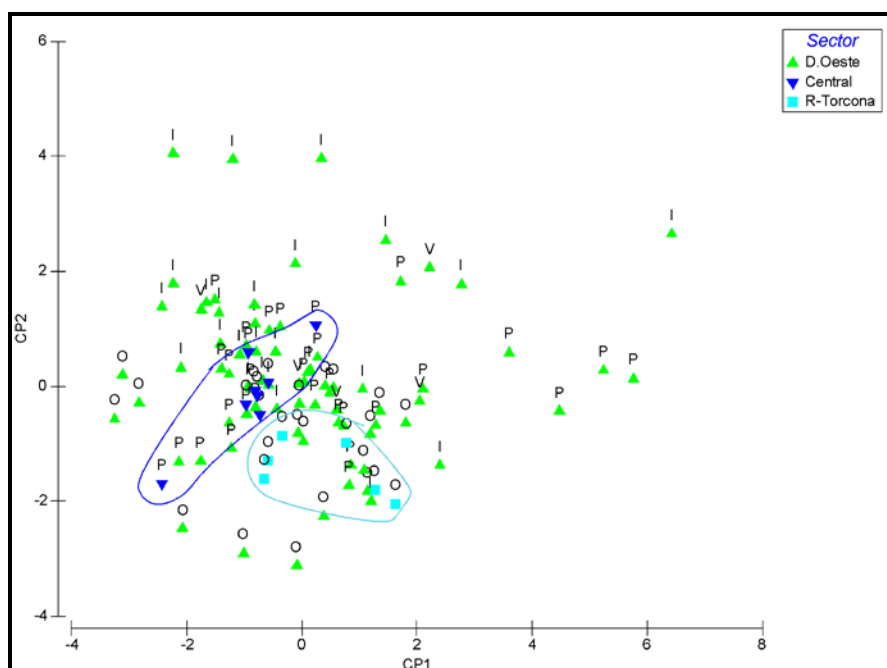


Figura 5.1.3.3.2.a. Representación bidimensional del análisis en componentes principales (PCA) de los datos físico-químicos del conjunto de muestras de Palomera (recorrido habitual y recorrido ocasional). Se indican el Sector de la Cueva al que pertenecen y la estación del año en que fueron recogidas las muestras (P, primavera; V, verano; O, otoño; I, invierno).

Las muestras tomadas en los sectores Resurgencia-Torcona y en el Central aparecen agregadas en sendos grupos, en el cuadrante inferior izquierdo de la gráfica. Sin embargo, están entremezcladas con numerosas muestras del Dédalo Oeste, con lo cual mediante este análisis no se pueden diferenciar bien del resto de localizaciones de Palomera en base a su composición química.

5.1.3.3.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

Para intentar discriminar con mayor claridad los grupos observados en los análisis anteriores del conjunto de Palomera se ha realizado el análisis de ordenación multidimensional no paramétrica, cuyo resultado se representa gráficamente en la figura 5.1.3.3.3.a. Las muestras se han agrupado en función de su localización, sector al que pertenece, la permanencia del agua y la naturaleza del hábitat. El criterio que muestra una mayor segregación de los grupos es el espacial, el *sector de la cueva* en el que se sitúan los puntos estudiados. Las muestras que aparecen más diferenciadas son las del Sector Resurgencia-Torcona, de color azul claro y acotadas con el mismo color en el extremo inferior-izquierdo del gráfico. Las muestras del Sector Central están reunidas en la parte izquierda de la gráfica, en azul oscuro, pero intercaladas con numerosas muestras del Dédalo Oeste, de color verde, con mayor densidad en la misma zona, aunque más extendidas.

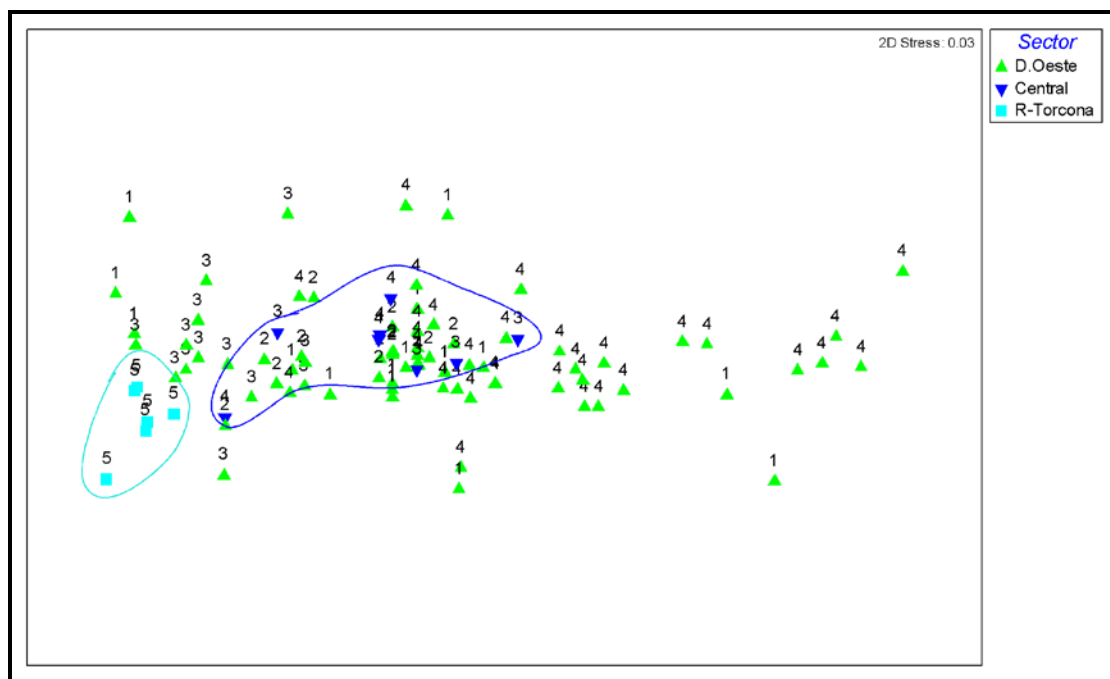


Figura 5.1.3.3.3.a. Análisis no paramétrico multidimensional de los datos físico-químicos del conjunto de muestras de Palomera (puntos de muestreo habitual y esporádico). Se indican los sectores a los que pertenecen los hábitat y la permanencia del agua en los mismos: (1) entre uno y dos meses, (2) entre tres y cinco meses, (3) entre seis y ocho meses, (4) entre nueve y once meses y (5) aguas permanentes.

Esta representación en dos dimensiones es *excelente* según el criterio de stress (*excelente* para valores entre 0 y 0,05, Rohlf, 1992). Con un valor de stress 0,03 es muy fiel a la distribución en el espacio multidimensional, 12 dimensiones correspondientes a las variables físico-químicas. Al no tener las muestras una segregación espacial o temporal patente, la distribución indica que bien la dispersión se deberá a pequeñas variaciones de todos los factores físico-químicos, sin un patrón definido, o bien que existen otros parámetros que determinan la composición físico-química y se desconoce su naturaleza y efecto.

5.1.3.3.4. Análisis de similitud (ANOSIM)

Se ha realizado el análisis de similitud por pares, ANOSIM, entre las muestras de físico-química del conjunto de Palomera para analizar si hay diferencias significativas agrupando las muestras según las localizaciones individuales (puntos de muestreo). El cuadro 5.1.3.3.4.a contiene los pares con mayor índice R. El índice R global es elevado y estadísticamente significativo ($R=0,62$ para $p=0,001$), lo que indica que hay pares de grupos de muestras con diferencias significativas que merecen ser revisados.

Entre los valores que se muestran, los marcados en negrita son los pares que presentan mayores diferencias. Si descartamos los pares que ya se analizaron en el *recorrido habitual*, OG-01, con sólo dos muestras de físico-química presenta un índice $R=1$ y $p<0,05$ con OG-07, OG-09, OG-10, OG-12 y OG-15 y con la localización OG-14 un $R=0,98$ significativo para $p=0,002$. La localización OG-01 (Sala del Museo de Cera) tiene unos *gours* muy someros y temporales; OG-01 y OG-12 han registrado una temperatura ligeramente discordante con otras zonas de la Cueva: OG-01 es el que ha registrado las temperaturas más elevadas de Palomera (10,6 y 10,7°C), mientras que en OG-12 se han registrado las menores temperaturas (un mínimo de 4,7 °C y una media de 5,94 °C). OG-16 se diferencia significativamente de otras localizaciones del *recorrido habitual*: de OG-07, con $R=1$ y $p=0,02$; de OG-08, con $R=1$ y $p=0,02$; de OG-09, con $R=0,89$ y $p=0,01$; de OG-10, con $R=1$ y $p=0,02$ y finalmente de OG-14, con $R=1$ y $p=0,01$. OG-16 es un charco temporal que se rellena mediante un goteo activo durante la época de abundancia hídrica en la galería principal, que junto con OG-12 son los únicos que han registrado temperaturas menores de 7°C.

Las muestras de los puntos del *recorrido habitual* se diferencian mejor en este análisis de conjunto en Palomera que el realizado exclusivamente en las localizaciones del *recorrido habitual*: aquí se han considerado todas las muestras colectadas de físico-química para este sector, ampliando con las muestras colectadas durante un muestreo en 1998 y en el periodo de enero de 2003 a septiembre de 2004. Al aumentar el conjunto de datos se refleja un patrón más claro según su origen.

Cuadro 5.1.3.3.4.a. Resultado del análisis de similitud del conjunto de muestras de Palomera agrupadas según la localización de muestreo.

Diferencias entre los grupos de LOCALIZACIÓN DE MUESTREO				
Índice del conjunto (R global): 0.616				
Significación estadística: p=0.001				
Análisis de pareados				
Grupos	Estadístico R	Significación valor p	Permutac. posibles	Permutac. reales
OG-01, OG-07	1.000	0.006	165	165
OG-01, OG-09	1.000	0.002	455	455
OG-01, OG-10	1.000	0.006	165	165
OG-01, OG-12	1.000	0.005	220	220
OG-01, OG-14	0.982	0.002	560	560
OG-01, OG-15	1.000	0.029	35	35
OG-02, OG-07	0.565	0.024	165	165
OG-02, OG-08	0.538	0.027	220	220
OG-02, OG-09	0.613	0.013	455	455
OG-02, OG-10	0.642	0.012	165	165
OG-02, OG-12	0.801	0.005	220	220
OG-07, OG-08	0.784	0.001	24310	999
OG-07, OG-09	0.662	0.002	125970	999
OG-07, OG-12	0.905	0.001	24310	999
OG-07, OG-15	0.631	0.006	495	495
OG-07, OG-16	1.000	0.022	45	45
OG-08, OG-10	0.739	0.002	24310	999
OG-08, OG-12	0.996	0.001	24310	999
OG-08, OG-14	0.743	0.001	497420	999
OG-08, OG-16	1.000	0.018	55	55
OG-08, OG-18	0.894	0.005	220	220
OG-08, OG-19	0.645	0.005	220	220
OG-09, OG-10	0.654	0.001	125970	999
OG-09, OG-12	0.632	0.001	293930	999
OG-09, OG-15	0.896	0.003	1820	999
OG-09, OG-16	0.888	0.011	91	91
OG-09, OG-19	0.769	0.002	455	455
OG-10, OG-12	0.910	0.001	24310	999
OG-10, OG-15	0.535	0.010	495	495
OG-10, OG-16	1.000	0.022	45	45
OG-12, OG-14	0.890	0.001	497420	999
OG-12, OG-15	0.956	0.001	715	715
OG-12, OG-18	0.689	0.005	220	220
OG-12, OG-19	0.878	0.005	220	220
OG-14, OG-16	1.000	0.010	105	105

5.1.3.4. Análisis estadístico de la físico-química del entorno

Se ha realizado el análisis multivariante con los datos de físico-química del agua del *entorno*, de modo que se compara el comportamiento de las aguas de los hábitat estudiados a fin de detectar las posibles diferencias existentes.

Los datos de los análisis físico-químicos aparecen completos en el apéndice 2. De todas las muestras se han utilizado sólo aquellas que tienen un análisis equivalente al realizado en las aguas de la Cavidad: sendas muestras de 12 cuevas diferentes a Palomera, otras doce de surgencias y doce más del medio hiporréico. También participan en el estudio cuatro muestras del medio freático, dos de pozos y dos de aguas asociadas al mismo río Trema. En la tabla

5.1.1.3.a se recogen la media, la desviación típica y el coeficiente de variación de los datos según el hábitat.

Para el análisis del conjunto de las muestras, éstas se han agrupado y comparado en función de la naturaleza del hábitat y la localización geográfica del lugar de muestreo (tabla 5.1.3.4.a).

Tabla 5.1.3.4.a. Situación y naturaleza del hábitat de los puntos de muestreo en los parajes del *entorno*.

Punto de muestreo	Sector (N-S)	Sector (O-E)	Hábitat
Sima Rizuelos	C	O	Cueva
Cueva Kaite	N	O	Cueva
Sima Jaime	C	C	Cueva
Cueva la Mina	C	C	Cueva
C. Prado Vargas	N	C	Cueva
Cueva García	C	O	Cueva
C. San Bernabé	N	O	Cueva
S. San Miguel	N	C	Cueva
Cueva Llanas	N	O	Cueva
Cueva Cornejo	C	C	Cueva
Cueva Racino	C	O	Cueva
Cueva Redonda	C	C	Cueva
La Torcona	S	E	Surgencia
Pozo del Infierno	S	O	Surgencia
Fuente en Cornejo	C	C	Surgencia
Surgencia de la Mea	S	O	Surgencia
Fuente Villa	C	O	Surgencia
Fuete Salce	C	O	Surgencia
Fuente Cubío	C	O	Surgencia
Surgencia de la Calzada	S	E	Surgencia
Fuente Jordana	C	O	Surgencia
Fuente del Mazo 1	C	C	Surgencia
Fuente del Mazo 2	C	C	Surgencia
Fuente de los Avellanos	N	C	Surgencia
Río Guareña Pto. 2	N	O	Hiporréico
Río Ulemas	N	C	Hiporréico
Río Trema Pto. 1	N	C	Hiporréico
Río Trema Pto. 2	C	C	Hiporréico
Río Trema Pto. 3	S	E	Hiporréico
Río Trueba Pto. 1	N	E	Hiporréico
Río Trueba Pto. 2	N	E	Hiporréico
Río Trueba Pto. 3	N	E	Hiporréico
Río Engaña	C	O	Hiporréico
Río Nela Pto. 1	S	O	Hiporréico
Río Nela Pto. 2	S	O	Hiporréico
Arroyo Hoz	N	E	Hiporréico
Pozo frente a La Torcona	S	E	Freático
Pozo en Villabascones	N	O	Freático
Río Trema Pto. 3	S	E	Freático
Río Trema Pto. 1	C	C	Freático

5.1.3.4.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

Se ha realizado un análisis de agrupamiento jerárquico no ponderado de las muestras del entorno indicadas anteriormente, cuyo resultado se puede ver en la figura 5.1.3.4.1.a.

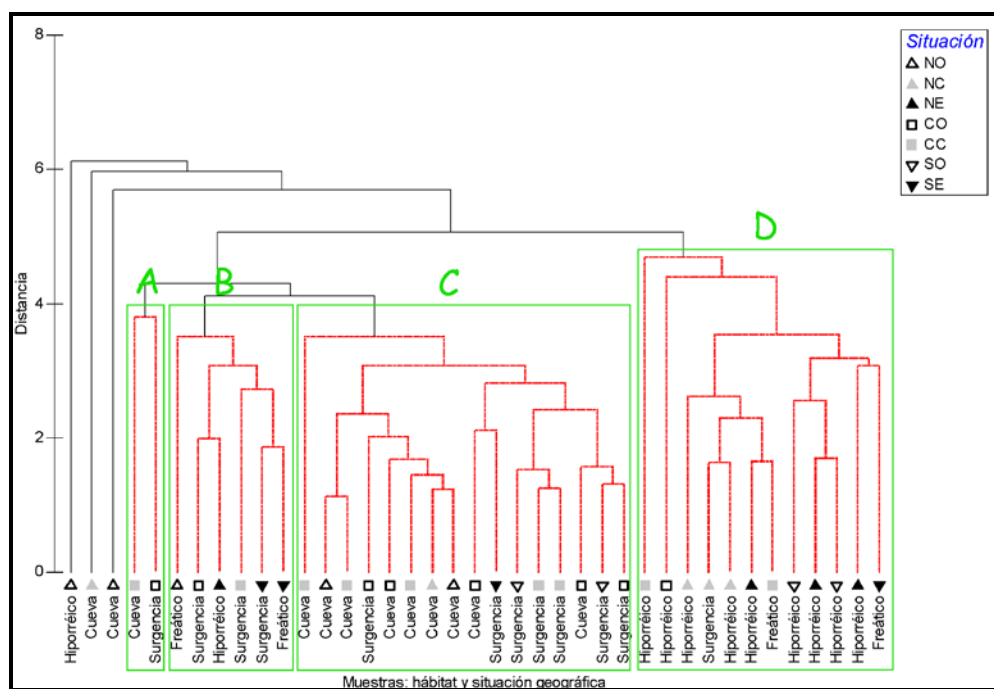


Figura 5.1.3.4.1.a. Análisis de agrupamiento del conjunto de las muestras de análisis físico-químico del entorno de cueva Palomera. Se indican el hábitat y la estación del año en que se colectaron las muestras. Para indicar la situación geográfica se utiliza el código siguiente: (+) norte, (s) centro y (,) sur y el relleno (blanco) oeste, (gris) centro y (negro) este.

En ella aparecen cuatro grupos A, B, C y D, dentro de los cuales no se detectan diferencias estadísticamente significativas (muestras unidas por línea roja discontinua, SIMPROF) en función de la composición de sus aguas:

- 1) El grupo A contiene dos muestras de diferentes hábitat y localizaciones distantes: cueva Cornejo, en el este, y fuente Jordana, al oeste del karst. Ambos tienen en común una elevada concentración de nitratos, 12,3 mg/l y 8,1 mg/l respectivamente, lo que supone un promedio de 10,2 mg/l. El grupo B tiene un promedio de 4,95 mg/l y los grupos C y D tienen ambos una media de 0,61 mg/l. Sólo en el punto 3 del Trema, en la muestra de hiporréico se ha medido una concentración superior, 36,2 mg/l.
- 2) El grupo B engloba seis muestras con aguas procedentes de tres ambientes (surgencias, freático e hiporréico) y dispersas en el espacio. Es el grupo con más cantidad de ión sulfato en disolución, 19,8 mg/l, mientras que los otros grupos tienen una media cercana a 7 mg/l.

- 3) El grupo C, sin embargo, contiene sólo muestras de surgencias y de cuevas, 16 muestras de las cuales la mayoría son del oeste y de la franja central, a excepción de la surgencia de la calzada, situada un poco más al este. Estas muestras tienen los mayores valores de saturación de oxígeno en disolución, en torno al 80% y las menores concentraciones de nitratos y de potasio.
- 4) El grupo D concentra la mayoría de las muestras del medio hiporréico, a falta de dos localizaciones, el arroyo de la Hoz (grupo B) y el río Guareña (que aparece como *outlier*). Ambas localizaciones presentan gran cantidad de materia orgánica y un sedimento muy compacto, lo que deriva en un incremento en el tiempo de residencia del agua subterránea y como consecuencia un aumento de la concentración de sales, además de la posible contaminación por actividades agropecuarias. El grupo D es el que tiene el menor valor promedio de conductividad del *entorno*, 181 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la menor concentración de calcio, 42,5 mg/l y de bicarbonatos, 137,2 mg/l, que indican una mineralización escasa de las aguas. Por tanto, entre las muestras de los ríos no se observan semejanzas por cercanía espacial o por la conexión a través de las direcciones de flujo subterráneo.

Como cabía esperar, existe un agrupamiento en función de la naturaleza del hábitat, en especial con las del medio hiporréico y las de naturaleza freática tomadas en las orillas de los ríos, siendo más parecida su composición físico-química entre ellas que con otras muestras más próximas provenientes de otros ambientes. Sin embargo, dada la relativa estabilidad y homogeneidad en la composición de las aguas subterráneas, hay muestras que se disponen próximas y que aparentemente no guardan relación, como ocurre en los grupos B y C, en los que se unen diversas muestras de diferentes medios y de situaciones geográficas muy variadas (norte, centro, sur, este y oeste).

5.1.3.4.2. Análisis en componentes principales (PCA)

Se ha realizado el análisis en componentes principales para ver cuáles son las variables que tienen más influencia en la oscilación de los datos en el *entorno*. El cuadro 5.1.3.4.2.a muestra los primeros componentes, la varianza explicada por cada uno de ellos y la aportación de cada variable a la formación de aquellos más relevantes.

Se puede considerar conveniente el estudio de los cuatro primeros componentes, con valor propio superior a 1, o de los cinco, que dan cuenta del 82,8% de la variación. En el gráfico de sedimentación, figura 5.1.3.4.2.a, la línea que representa la relación entre valor propio y componente principal reduce drásticamente su pendiente en los componentes segundo y cuarto.

Cuadro 5.1.3.4.2.a. Resultado del análisis en componentes principales de los datos físico-químicos del conjunto de Palomera.

Valores propios (<i>Eigenvalues</i>)			
CP	Valores propios	%Varianza	% acumulado de varianza
1	3.83	34.8	34.8
2	1.95	17.8	52.5
3	1.44	13.1	65.6
4	1.04	9.4	75.0
5	0.85	7.7	82.8

Vectores propios (*Eigenvectors*): Coeficientes de las combinaciones lineales entre las variables en los tres primeros componentes.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4
T ^a	-0.334	-0.230	0.181	-0.062
pH	-0.042	-0.061	0.650	-0.102
log(1+O ₂)	-0.028	-0.434	-0.041	0.669
log(1+Cond.)	-0.473	-0.130	0.109	0.122
log(1+Cl ⁻)	-0.234	0.369	0.352	0.369
log(1+SO ₄ ²⁻)	-0.225	0.487	-0.072	0.306
log(1+NO ₃ ⁻)	-0.166	0.056	-0.471	0.339
log(1+HCO ₃ ⁻)	-0.461	-0.218	-0.066	-0.190
log(1+Ca ²⁺)	-0.461	-0.225	-0.063	-0.177
log(1+Mg ²⁺)	-0.268	0.267	-0.373	-0.334
log(1+Na ⁺)	-0.183	0.439	0.182	-0.023

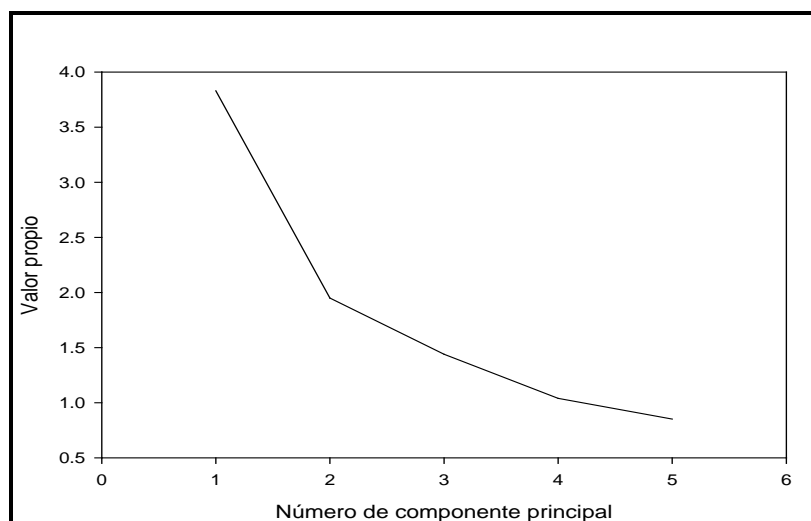


Figura 5.1.3.4.2.a. Relación gráfica entre el orden de componente principal considerado y su propio autovalor.

En el conjunto del *entorno* existe una mayor variabilidad en la composición físico-química de las muestras de agua que en Palomera y su entendimiento es más complejo que en

el caso de los recorridos habitual y ocasional de forma independiente: se necesitan los cuatro primeros componentes para explicar el 75% de la varianza (una proporción menor de la varianza con la implicación de más componentes), y una participación importante de ocho variables de las consideradas, a excepción de la temperatura y la concentración de cloro y magnesio en disolución, que no alcanzan un peso de 0,4 en los componentes principales, positivo o negativo.

Las variables originales que más influyen al primer componente son la conductividad, los iones bicarbonato y calcio. En el caso del segundo componente, las variables más importantes son el oxígeno disuelto, y los iones sulfato y sodio. En el tercer componente influyen el pH y el ión nitrato y en el cuarto el oxígeno disuelto.

En la figura 5.1.3.4.2.b se han representado los dos primeros componentes que son los que mejor se prestan a una interpretación. Se indican con líneas de sus colores respectivos los grupos de muestras que mejor segregan, en función del tipo de hábitat. En este análisis también se obtiene un agrupamiento de las muestras en función del hábitat del que proceden, con independencia de su situación espacial, aunque hay solapamiento entre los conjuntos que forman. De la figura se puede destacar lo siguiente:

- 1) La mayoría de las muestras del medio hiporréico aparecen desplazadas hacia la derecha del gráfico que, como indica la tabla anterior, está dominada por valores bajos de conductividad y de concentración de iones calcio y bicarbonato, los principales contribuyentes al primer componente principal y ambos con valor negativo.
- 2) Las muestras de cuevas tienden a presentarse hacia la parte inferior, coincidiendo con valores negativos del segundo componente principal que indica concentración baja de ión sulfato, y también desplazadas hacia la izquierda, donde la primera componente principal tiene valores elevados de conductividad y concentración de bicarbonato y calcio.
- 3) El medio freático sólo está representado por cuatro muestras, de las cuales hay dos tomadas en orillas del río Trema (emplazamientos 1 y 3) intercaladas en la gráfica con las del medio hiporréico, y las dos muestras de pozos en el extremo superior izquierdo. Por su disposición a lo largo del primer eje, ambos pares distanciados, cabe dudar que los dos grupos pertenezcan al mismo tipo de hábitat, aunque las tomadas en la margen de los ríos estaban suficientemente desplazadas del cauce como para considerarlas parte de medio freático.

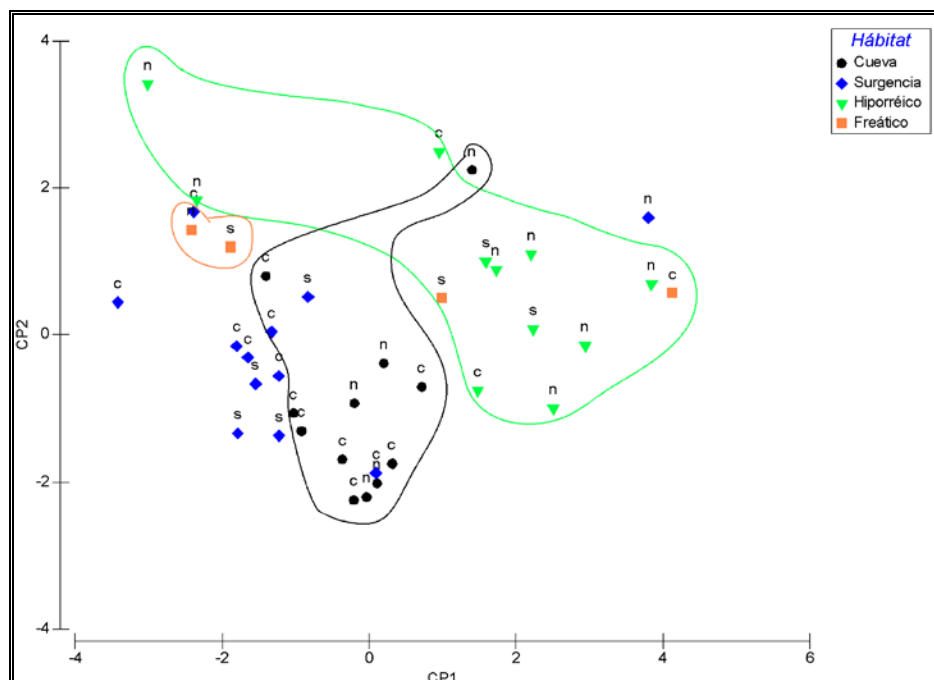


Figura 5.1.3.4.2.b. Análisis en componentes principales con los datos físico-químicos de las muestras del *entorno* de la cavidad principal. Se indican la posición en el karst ('n', norte, 'c' centro y 's' sur) y la naturaleza del hábitat.

No se han observado patrones de distribución de las muestras según su posición en el karst, en función de los puntos cardinales y no merece analizarlo desde una perspectiva temporal ya que la mayor parte de los muestreos se realizaron en una sola estación del año, en otoño de 2002.

5.1.3.4.3. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

El análisis de ordenación multidimensional se ha realizado con los mismos datos de los análisis anteriores, apéndice 2, y teniendo en cuenta las características de las localizaciones, en la tabla 5.1.3.4.a. El factor que muestra un agrupamiento más claro es la naturaleza del hábitat, que como hemos indicado, consta de cuatro categorías diferenciadas: cuevas, surgencias, medio hiporréico y freático, figura 5.1.3.4.3.a.

Aunque con una delimitación ligeramente imbricante, se pueden observar los cercados que engloban las muestras de localizaciones de misma naturaleza y que se encuentran próximas. La ordenación presente en la gráfica permite señalar lo siguiente:

- 1) Las dos muestras de medio freático procedentes de las proximidades de los ríos están imbricadas con las del medio hiporréico, en la parte central e inferior, y las dos de pozos aparecen en el extremo superior izquierdo, más diferenciadas. Esto refuerza el resultado expuesto en el análisis anterior.
- 2) Surgencias y medio hiporréico aparecen relativamente bien separados, a excepción de la Fuente de los Avellanos en la parte inferior de la gráfica, que es la surgencia

que resultó tener una conductividad y una concentración de bicarbonatos y calcio extremadamente bajos.

- 3) Las cuevas aparecen dispersas, entre muestras de surgencias y del medio hiporréico.

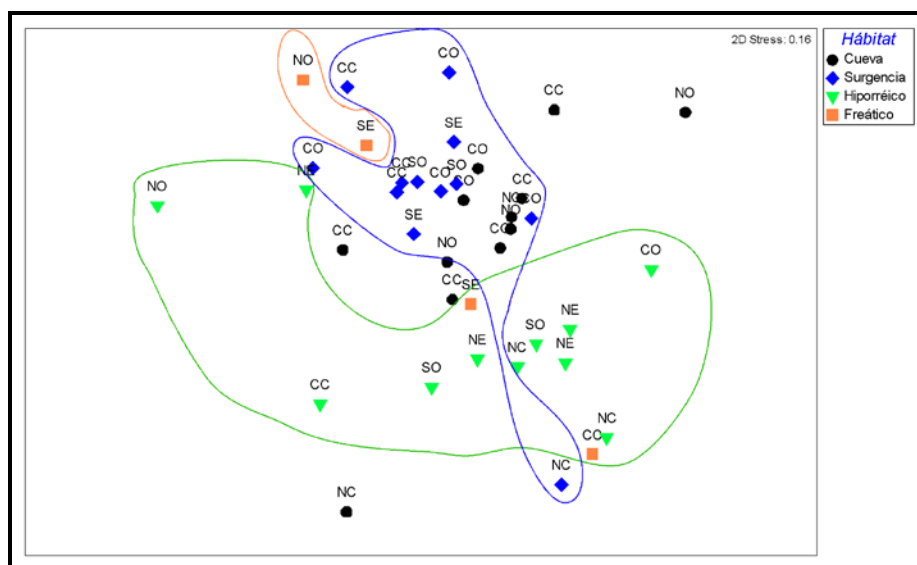


Figura 5.1.3.4.3.a. Representación gráfica bidimensional del análisis no paramétrico multidimensional de las muestras físico-químicas del *entorno* de la cavidad principal.

Este análisis discrimina los grupos de hábitat en estudio con menor claridad que el análisis anterior, tanto si se considera la localización, como el tipo de hábitat. Cuevas, surgencias y medio hiporréico solapan, extendiéndose los tres por gran parte del gráfico.

5.1.3.4.4. Análisis de similitud (ANOSIM)

Para estudiar mejor la posible definición de los grupos observados en los análisis anteriores del *entorno*, se ha realizado un análisis de similitud, detectando aquellas diferencias entre pares de hábitat que pudieran ser significativas. Las muestras se han agrupado por la naturaleza del hábitat, así como por su localización.

La mejor resolución se obtiene utilizando el tipo de hábitat para la clasificación (cuadro 5.1.3.4.4.a). El conjunto de las muestras tiene un índice $R=0,27$ y $p=0,001$, que apunta a una homogeneidad escasa dentro de los grupos, en relación con las diferencias entre grupos.

Únicamente las muestras del medio hiporréico y las de surgencias tienen un índice R de cierto peso, $R=0,4$, aunque con un nivel de significación muy elevado $p=0,002$, y diferencia claramente a ambos tipos de hábitat.

El valor de R en el resto de los pares es de menor cuantía y, aunque significativos, puede que no se deba a las variables utilizadas para obtener la matriz de semejanza previa al análisis de ANOSIM.

Cuadro 5.1.3.4.4.a Resultados del análisis de similitudes (ANOSIM) realizado con los datos de físico-química obtenidos del *entorno* acuático de Palomera.

Diferencias entre los grupos de HÁBITAT				
Índice del conjunto (R global): 0.273				
Nivel de significación: p=0,001				
Análisis de pareados				
Grupos	Índice R	Significación valor p	Permutaciones posibles	Permutaciones reales
Cueva, Surgencia	0.140	0.004	1352078	999
Cueva, Hiporréico	0.324	0.001	1352078	999
Cueva, Freático	0.334	0.055	1820	999
Surgencia, Hiporréico	0.401	0.002	1352078	999
Surgencia, Freático	0.300	0.051	1820	999
Hiporréico, Freático	0.119	0.213	1365	999

Con los resultados de este análisis, podemos concluir que la diferenciación de los hábitat del *entorno* no queda claramente definida por las variables ambientales y físico-químicas empleadas. Quizás habría que incluir otras variables como pueden ser: tamaño de poro en hiporréico y freático, procedencia del agua de surgencia, etc.

5.2. Resultados taxonómicos propios

Tras el aislamiento, examen, disección y estudio del material recogido durante los 4 años de muestreo, según se ha descrito hasta ahora, se han podido identificar 5 géneros y 4 especies de crustáceos pertenecientes a 5 familias diferentes de isópodos y anfípodos. Anfípodos de las familias Gammaridae, Pseudoniphargidae y Niphargidae e isópodos de las familias Asellidae y Stenasellidae, los cuales se recogen en el cuadro 5.2.a:

Cuadro 5.2.a. Lista taxonómica de isópodos y anfípodos aislados e identificados procedentes de las muestras de la cueva de Ojo Guareña y su entorno.

Isopoda Latreille, 1817
Familia Asellidae Rafinesque-Schmaltz, 1815
Género <i>Proasellus</i> Dudich, 1925
<i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i> Henry y Magniez, 1992
Familia Stenasellidae Vandel, 1964
Género <i>Stenasellus</i> Dollfus, 1897
<i>Stenasellus virei buchneri</i> (Stammer, 1936)

Amphipoda Latreille, 1816

Familia Gammaridae Leach, 1814

Género *Echinogammarus* Stebbing, 1899

Echinogammarus sp.

Familia Pseudoniphargidae Bousfield, 1977

Género *Pseudoniphargus* Chevreux, 1901

Pseudoniphargus burgensis Notenboom, 1986

Familia Niphargidae G. Karaman, 1962

Género *Haploginglymus* Mateus y Mateus, 1958

Haploginglymus sp.

5.2.1. Especies estudiadas de Isopoda

Se han aislado 133 ejemplares de isópodos durante el estudio, de los cuales 115 presentaban los pleonitos I y II patentes y el palpo mandibular, lo que nos indicó su pertenencia a la familia Stenasellidae, mientras que los otros 18 ejemplares, pertenecientes a la familia Asellidae, presentaban el palpo mandibular, pero con los pleonitos I y II muy reducidos.

5.2.1.1. Familia Asellidae

De los 18 ejemplares hallados de la familia Asellidae, 16 proceden de la cavidad principal, mientras que los otros dos aparecieron en diferentes muestras del *entorno*: Surgencia de la Mea y Fuente de los Avellanos. Entre los 16 ejemplares Asellidae de Ojo Guareña, diez habitaban OG-12 (Galería de Italianos) y otros 2 ejemplares se capturaron en cada una de estas tres localizaciones: OG-02 (Galería Principal), OG-14 (Granja de Ortiz) y OG-36 (Galería Italianos).

Todos los individuos Asellidae pertenecen al género *Proasellus* Dudich, 1925: microoculados, con palpo mandibular, con los pleonitos muy reducidos, el endópodo del pleópodo II en el macho no presenta protuberancia externa y la cánula es de aspecto débil, poco quitinizado (Tabla 5.2.1.1.a). *Proasellus* constituye un grupo de isópodos muy diversificado, cuyas especies se diferencian principalmente por la morfología del pleópodo II del macho. En la Península Ibérica se conocen 30 especies de *Proasellus*, de las cuales se han encontrado tres oculadas y microoculadas dentro de la región en la que está situada la cueva de Ojo Guareña (Henry y Magniez, 1992):

- *Proasellus meridianus* (Racovitza, 1919): en cuevas, surgencias, medio hiporréico y medio freático (pozos) de Cantabria, Burgos (Comarca de las Merindades), Navarra y Bilbao.

- *Proasellus ortizi* Henry y Magniez, 1992: muy extendido en cuevas, surgencias y medio hiporréico de Burgos (cueva de Ojo Guareña: La Torcona y Palomera; Cornejo, Espinosa de los Monteros y otras localidades) y Cantabria (Soba, Reocín y Matienzo).
- *Proasellus ebrensis* Henry y Magniez, 1992: Burgos (Merindades, Valdenoceda).

Tabla 5.2.1.1.a. Caracteres identificativos de los géneros de la familia Asellidae presentes en la zona donde se sitúa la cueva de Ojo Guareña.

Carácter	<i>Synasellus</i>	<i>Bragasellus</i>	<i>Proasellus</i>
Palpo mandibular	-	+	+
Pleópodo II ♂			
Protuberancia proximal externa		+	-
Cánula Quitinosa terminal		Muy desarrollada	Poco desarrollada

La especie encontrada en este estudio tiene mayor semejanza con *Proasellus ortizi* que con *Proasellus ebrensis*, sin coincidir exactamente con la descripción de Magniez. Los caracteres se recogen en la tabla 5.2.1.1.b y nos lleva a dejar la identificación como *Proasellus* cf. *ortizi*. Se han diseccionado los 18 asélidos. Sólo había 4 machos adultos, 1 subadulto y el resto eran 7 hembras y 6 larvas mancas. Queda pendiente realizar un estudio más detallado en que se analice la variabilidad en un mayor número de ejemplares.

Tabla 5.2.1.1.b. Caracteres que diferencian las diferentes especies del género *Proasellus* que viven en el área del complejo kárstico de Ojo Guareña (Pl.II= pleópodo del 2º pleonito) (Pl.IV= pleópodo del 4º pleonito).

	<i>Proasellus ebrensis</i>	<i>Proasellus ortizi</i>	<i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i>
Endópodo Pl. II ♂			
Extremo con apófisis	ancha y corta	grande, hacia el lado externo, perpendicular al órgano copulador	grande, con orientación vertical
Exópodo Pl. IV	ovalado, grande 6-11 sedas	ovalado, pequeño 4 sedas	ovalado, pequeño 4-7 sedas

Los *Proasellus* aislados de las muestras de la Cueva presentaban el endópodo del pleópodo II de los machos con una apófisis terminal grande, orificio espermático reducido y en el exópodo del pleópodo IV existía una variabilidad en el número de sedas, entre 4 y 7. La identificación como *Proasellus ortizi* no es definitiva debido a estos diferentes estados del último carácter considerado en la tabla 5.2.2.b. Magniez no registra mayor variabilidad en dicha especie y, por tanto, debería ser un carácter constante en la especie *P. ortizi*. Pero la semejanza del resto de caracteres y el hecho de que Magniez estudiara ejemplares procedentes de la cueva de Ojo

Guareña para su descripción llevan a pensar que se trata de la misma especie pero que realmente sí presenta cierta variabilidad que pasó desapercibida para Magniez.

5.2.1.2. Familia Stenasellidae

Las especies de Stenasellidae que se conocen del norte de la Península Ibérica pertenecientes a los grupos *Stenasellus virei* Dollfus, 1897 y *Stenasellus breuili* Racovitza, 1924 son las que se ven en la siguiente tabla 5.2.1.2.a:

Tabla 5.2.1.2.a. Especies y subespecies de los grupos *virei* y *breuili* del género *Stenasellus* Dollfus, 1897 y regiones en los que se han hallado.

Stenasellidae Grupo <i>virei</i>	Stenasellidae Grupo <i>breuili</i>
<i>Stenasellus v. virei</i> Dollfus, 1897	<i>Stenasellus breuili</i> Racovitza, 1924
Francia, Huesca, Tarragona	Navarra, País Vasco
<i>Stenasellus v. buchneri</i> (Stammer, 1936)	<i>Stenasellus galhanoae</i> Braga, 1962
Asturias, Cantabria, Burgos	Portugal, Andalucía
<i>Stenasellus v. nobrei</i> Braga, 1942	<i>Stenasellus bragai</i> Magniez, 1976
Portugal, Aragón, Tarragona, Castellón	Andalucía
<i>Stenasellus v. angelieri</i> Magniez, 1968	<i>Stenasellus escolai</i> Magniez, 1977
Francia, Cataluña, Albacete	Andalucía

Los ejemplares de la familia Stenasellidae pertenecen al único género conocido en la Península Ibérica y género tipo de la misma, *Stenasellus* Dollfus, 1897, con palpo mandibular y los pleonitos I y II patentes.

Tabla 5.2.1.2.b. Caracteres que diferencian los 2 grupos del género *Stenasellus* del norte de España.

	<i>Stenasellus</i> grupo <i>virei</i>	<i>Stenasellus</i> grupo <i>breuili</i>
Protópodo pleópodo II ♂	gancho externo denticulado e inserción basal	sin gancho, o gancho secillo sin denticular
Endópodo pleópodo II ♂, extremo distal	fusiforme y sin espinas	cilíndrico, con corona de espinas
Exópodos pleópodos IV y V	extremo basal plano extremo distal estilizado	oval, mayores que sus respectivos endópodos
Nº espinas exópodo pleópodo V	≤ 4	≥ 4

En el norte de la Península aparecen Stenasellidae pertenecientes a dos grupos, la especie politípica *Stenasellus virei* (actualmente constituida por 4 subespecies en la Península: *Stenasellus v. virei* Dollfus, 1897, *Stenasellus v. buchneri* (Stammer, 1936) *Stenasellus v. nobrei*

Braga, 1942 y *Stenasellus v. angelieri* Magniez, 1968) y *Stenasellus breuili* del grupo *breuili* (que comprende 4 especies: *Stenasellus breuili*, *Stenasellus galhanoae* Braga, 1962, *Stenasellus bragai* Magniez, 1976 y *Stenasellus escolai* Magniez, 1977). Los caracteres que los diferencian se recogen en la tabla 5.2.1.2.b.

Los ejemplares estudiados pertenecen al grupo de *Stenasellus virei*. Las cuatro subespecies que abarca se han encontrado en el tercio norte peninsular. Los caracteres que diferencian estas especies aparecen en tabla 5.2.1.2.c.

Tabla 5.2.1.2.c. Caracteres identificativos de las subespecies de *Stenasellus virei* Dollfus, 1897 del norte de España.

	<i>S. v. virei</i>	<i>S. v. buchneri</i>	<i>S. v. nobrei</i>	<i>S. v. angelieri</i>
Longitud exópodo pleópodo IV: relación longitud / anchura	5,5 - 6	3,75 - 4,5	3,75 - 4,5	3,5
Exópodo pleópodo V	estiliforme	estiliforme	ensanchado, forma de mazo	estiliforme
Sedas exópodo pleópodos IV y V	2-4 plumosas distales	6-11 ramificadas	6-11 sedas distales	2-4 plumosas distales
Longitud relativa artejo distal / rama completa	<0,45	<0,45	<0,45	0,46-0,48

El *Stenasellus* que habita la Cueva y otras localizaciones de su entorno presenta en el exópodo del pleópodo IV numerosas sedas ramificadas y el exópodo del pleópodo V estiliforme, con lo cual no cabe duda de que pertenece a la subespecie *Stenasellus virei buchneri*.

5.2.2. Especies estudiadas de Amphipoda

Se han encontrado anfípodos pertenecientes a las familias Gammaridae, Pseudoniphargidae y Niphargidae. Dentro de la cavidad principal se colectaron 30 individuos, de los cuales 2 son Pseudoniphargidae (con el exópodo del urópodo 3 unisegmentado y los dos pares de gnatópodos - G1 y G2- trapezoidales, obtenidos en OG-45 y OG-46, resurgencia de la Torcona) y 28 son Gammaridae. En las muestras del *entorno* aparecieron 19 anfípodos, de los cuales 14 son Gammaridae y 5 Niphargidae (los dos pares de gnatópodos -G1 y G2- triangulares, colectados en el pozo frente al Torcón, en el punto 2 del río Nela y en el punto 3 del río Trema).

Los Gammaridae encontrados son ejemplares oculados que pertenecen al género *Echinogammarus* Stebbing, 1899. Los adultos poseen unos ocelos ovalados bien desarrollados y se pueden considerar estigoxenos. Al no ser fauna realmente estigobia no se ha determinado el material a nivel específico.

Los ejemplares de la familia Niphargidae recogidos en las muestras pertenecen al género *Haploginglymus* Mateus y Mateus, 1958. Sólo se encontraron cinco ejemplares en el *entorno* y

ninguno en la propia cavidad: dos en una muestra del medio freático (pozo frente al Torcón) y tres ejemplares en dos muestras del medio hiporréico en la ubicación 1 del río Trema y en el punto 2 del Nela.

El género *Haploginglymus* se caracteriza por lo siguiente:

- Tiene el tercer urópodo formado por un protópodo y una prolongación que se divide en 2 ramas, el endópodo y el exópodo, siendo el último unisegmentado, como ocurre en *Pseudoniphargus* Chevreux, 1901.
- Presenta los 2 pares de gnatópodos con la misma morfología, y con la palma en forma triangular, a diferencia de *Pseudoniphargus* cuya forma se aproxima más a una figura trapezoidal y los gnatópodos de los pereionitos 1 y 2 muestran diferencias en la longitud y la forma.

Se conocen 4 especies del género *Haploginglymus*, el cual es un endemismo ibérico y está entre los anfípodos estigobios más ampliamente distribuidos dentro de la Península (Notenboom, 1988, Pretus y Sabater, 1990). Dichas especies, cuyos caracteres identificativos aparecen en la tabla 5.2.2.a, se han encontrado en pozos, medio hiporréico y en cuevas de la mitad norte peninsular y son:

Haploginglymus bragai Mateus y Mateus, 1958 (Norte de España y Portugal)

Haploginglymus lobatus Stock, 1980 (España, Cantabria)

Haploginglymus mateusi Karaman, 1986 (España, Guadalajara)

Haploginglymus bergae Pretus y Sabater, 1990 (España, Lérida)

Tabla 5.2.2.a. Caracteres identificativos de las subespecies del género *Haploginglymus* Mateus y Mateus, 1958 endémico de España.

	<i>H. bragai</i>	<i>H. lobatus</i>	<i>H. bergae</i>	<i>H. mateusi</i>
Distribución	Oporto (Portugal)	Santander	Lérida	Guadalajara
Hábitat	Pozo	Hiporréico	Surgencia	Cueva
Tamaño corporal	9 mm	3-5 mm	6 mm	10 mm
Base de pereiópodos V-VII con lóbulo posterodistal	-	+	+	-
Longitud relativa (seg. 5: seg. 4) de la antena II	>1	<1	<<1	>1
Maxílula, nº sedas distales en endópodo	4	4	3	3
Urópodo III: relación longitud/anchura	6,3	4,4	8,8	7,9
Gnatópodo II: relación longitud carpo / propodio	<1	=1	>>1	=1

Los ejemplares de *Haploglymus* encontrados en este estudio no se han podido determinar al nivel de especie, debido a que el macho encontrado en las muestras presentaba la cutícula muy degradada y el resto de ejemplares son una hembra y tres subadultos.

La especie de la familia Pseudoniphargidae que se ha encontrado pertenece al género *Pseudoniphargus*, cuyas especies del norte de España están descritas en el trabajo de Notenboom, 1986. Tras la disección y observación al microscopio óptico de los ejemplares, se llegó a la conclusión de que se trata de *Pseudoniphargus burgensis*, especie endémica circunscrita a la cueva de la Torcona, surgencia principal del complejo de Ojo Guareña. Sin embargo, se ha encontrado un número escaso, sólo 2 ejemplares en los charcos de los puntos OG-45 y OG-46 de la cavidad principal, un macho y una hembra adulta ovígera. Según apunta J. Notenboom en su artículo de 1986, las diferencias entre especies de *Pseudoniphargus* son muy pequeñas, limitándose a algunos caracteres menores de los apéndices (gnatópodos, pereiópodos, urópodos y telson). Los estadios de los caracteres que diferencian a *P. burgensis* de las otras dos especies del género más próximas geográficamente en el norte de España pueden verse resumidas en la tabla 5.2.2.b. *P. elongatus* Stock, 1980 vive en cuevas y medio intersticial de ríos de Santander y el norte de Burgos (manantial de Quintanilla de Valdebodres), mientras que *P. semielongatus* Notenboom, 1986 se conoce de ambientes similares aunque en Oviedo y noroeste de Santander (Notenboom, 1986).

Tabla 5.2.2.b. Caracteres diferenciales de *Pseudoniphargus burgensis* Notenboom, 1986 frente a los dos congéneres más próximos geográficamente, *P. elongatus* Stock, 1980 y *P. semielongatus* Notenboom, 1986.

	<i>P. elongatus</i>	<i>P. semielongatus</i>	<i>P. burgensis</i>
Exopodio del urópodo III ♂, relación longitud/anchura	17	8-10	7,2-8
Longitud relativa del protópodo del urópodo III ♂, relación longitud/anchura	8	2	1,5
Armadura (espinas) en el margen ventral de placas epimerales	0-1-1	0-1-1	0-0-0
Gnatópodo II ♂: relación longitud carpo/propodio	0,62	0,54	0,75
Número de sedas tipo D del palpo mandibular	10-19	9-14	5-7

5.2.3. Resultados de los análisis moleculares

Hasta el comienzo del año 2011 se ha realizado la extracción del ADN de varios individuos procedentes de la cueva de Ojo Guareña. Estos corresponden a una subespecie de crustáceo isópodo stenasélido (*Stenasellus virei buchneri*), un crustáceo isópodo de la familia de los asélidos (*Proasellus* cf. *ortizi*), cuatro especies del grupo de los crustáceos sincáridos batineláceos pertenecientes a dos géneros diferentes (*Vejdovskybathynella* Serban & Leclerc 1984 e *Iberobathynella* Schminke, 1973) y de un ácaro de la familia de los limnohalacáridos pendiente de identificación morfológica. La relación de los mismos se recoge en la tabla 5.2.3.a. Todos ellos se han colectado en la cavidad principal, excepto la nueva especie *Vejdovskybathynella* n.sp.2, procedente de Cueva Redonda.

Para realizar el estudio y la caracterización molecular de las especies acuáticas más emblemáticas que alberga la cueva de Ojo Guareña se ha tenido que poner a punto la rutina de extracción de ADN y amplificación de diferentes fragmentos de genes mitocondriales y nucleares, modificando las técnicas al uso ya que se ha trabajado poco con fauna subterránea, por tanto la experiencia con la que se cuenta a nivel mundial es muy reducida.

Tras varios años de experimentación, se han obtenido hasta la fecha resultados positivos con ejemplares diferentes del género *Vejdovskybathynella*, con secuencias parciales del gen COI (Camacho *et al.*, 2011) y del 18S.

Tres ejemplares que se encontraron en dos puntos distantes, entre sí y con el resto de localizaciones, cueva Redonda y río de los Erizos, parecen albergar dos especies nuevas, aún sin describir, que inicialmente se habían identificado como *Vejdovskybathynella edelweiss* Camacho 2007 (Camacho *et al.*, 2011) mediante el estudio taxonómico de los caracteres morfológicos externos.

Tabla 5.2.3.a. Individuos de cueva Palomera sobre los cuales se han aplicado las técnicas de extracción y amplificación del ADN y su procedencia.

Taxon	nº individuos	Procedencia
<i>Stenasellus virei buchneri</i>	7	OG-14, Granja de Ortiz
<i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i>	1	OG-39, La Torcona
<i>Iberobathynella burgalensis</i>	3	OG-53, <i>gours</i> Sala del Cacique
<i>Vejdovskybathynella edelweiss</i>	5	OG-01, Sala Museo de Cera
<i>Vejdovskybathynella edelweiss</i>	2	OG-09, Galería Principal
<i>Vejdovskybathynella edelweiss</i>	1	OG-16, Galería Principal
<i>Vejdovskybathynella</i> sp.1	1	Palomera, río de los Erizos
<i>Vejdovskybathynella</i> sp.2	1	Cueva Redonda
Acari indet.	1	OG-07, Gours de las Hojas
Acari indet.	2	OG-08, Gours de las Hojas
Acari indet.	2	OG-10, Gours de las Hojas

5.3. Resultados faunísticos

En este apartado se resumen los resultados del análisis de las muestras de agua para estudio faunístico en pequeñas tablas y gráficas. Se puede acudir a los cuatro apéndices, 3º a 6º, para ver la información detallada sobre la fauna identificada en cada localización.

5.3.1. Balance del muestreo faunístico

Fruto de la revisión de todas las muestras, 241 entre la cavidad principal y el *entorno*, tabla 5.1, se han aislado más de 5.000 individuos para su estudio taxonómico y ecológico. Con la ayuda de los taxónomos especialistas señalados anteriormente -tabla 4.6.a- se han identificado 174 especies: 58 de ellas subterráneas -36 estigobias y 22 estigófilas- y pertenecientes a 8 Phyla y 42 familias, a lo que hay que añadir registros antiguos de tres especies estigobias y 4 estigófilas que no se han hallado durante este estudio, en total, 177 especies, con 39 estigobias y 26 estigófilas.

Procedentes de la cavidad principal (incluidos: sumidero del río Guareña, cueva Palomera y las galerías de la Torcona), hay 175 muestras de agua destinadas al estudio biológico de las que se han obtenido cerca de 2.400 individuos, aislados para su identificación taxonómica (tabla 5.a, apéndices 3 y 4). Con la fauna aislada de la cavidad principal se han podido identificar 8 Phyla, 35 familias y 96 especies y subespecies, entre las cuales hay 42 subterráneas estrictas o facultativas -21 estigobias y 21 estigófilas-. Estas 42 especies suponen un 44% del total, por tanto cerca de la mitad de las especies identificadas son subterráneas *sensu lato*, mientras que las otras 54 especies de la Cavidad se consideran estigoxenas, o bien se desconoce su categoría ecológica. Inicialmente se ha realizado una catalogación en base a 16 grupos taxonómicos -clase, orden o familia-, según el grado de conocimiento y diversidad de cada uno en el medio subterráneo y por grupos a los que se dedican los especialistas colaboradores, de ahí la disgregación de artrópodos y, en concreto, de los crustáceos.

Tras la revisión de las 66 muestras procedentes del muestreo en el *entorno*, se aislaron en total 2.875 individuos para su estudio posterior, los cuales aparecen en la relación de la tabla 5.a y los apéndices 5 y 6. Estos pertenecen a 7 Phyla, 38 familias y 132 especies y subespecies, de las cuales 43 se consideran especies subterráneas -26 estigobias y 17 estigófilas- y las restantes 89 se desconoce su categoría ecológica o bien son estigoxenas.

Para el aislamiento de la fauna se han considerado los distintos morfotipos observados, de modo que a mayor número de morfotipos de cada grupo faunístico, más fauna se ha extraído de las muestras. No se ha separado ni se ha recontado toda la fauna por no tratarse de un muestreo cuantitativo y por falta de medios humanos, además de la limitación de tiempo.

La distribución de la fauna aislada de las muestras de los diferentes niveles de aproximación se puede observar en las gráficas de las figuras 5.3.1.a y 5.3.1.b, donde se ve que el mayor número de

individuos -el 56%, 2.875 individuos- pertenece sólo a las muestras del *entorno*, a pesar de que las muestras acumuladas son aproximadamente la mitad que las que se recogieron en la cavidad principal. Esto se aprecia al ver el índice de individuos aislados por muestra, que en el caso de las muestras del entorno es más del doble que en cualquiera de los dos bloques de análisis de Ojo Guareña (*recorrido habitual* y *recorrido esporádico*).

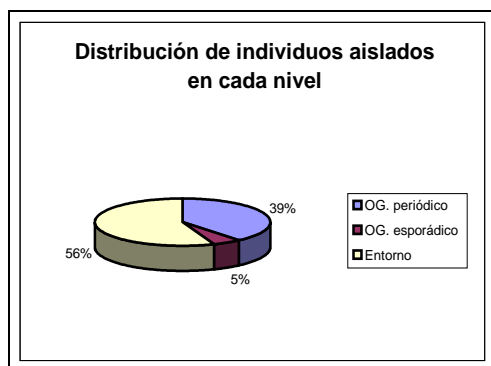


Figura 5.3.1.a. Distribución de los individuos aislados en los distintos niveles de aproximación.

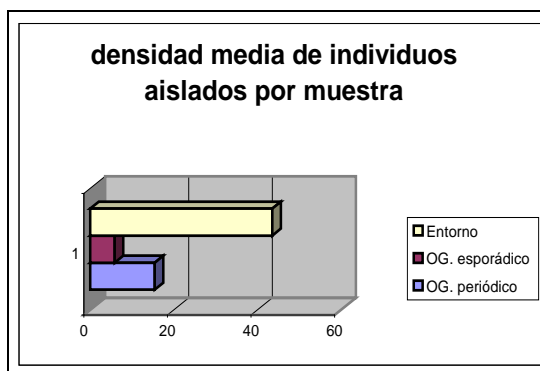


Figura 5.3.1.b. Riqueza de morfotipos, densidad de individuos aislados por muestra en cada nivel de aproximación.

En las siguientes figuras 5.3.1.c y 5.3.1.d, se intuye cuál debe ser el origen de las diferencias en la distribución cualitativa y cuantitativa de la fauna entre la cavidad principal y sus alrededores: en el *entorno* se han tenido en cuenta las cuevas circundantes, así como las surgencias, el medio hiporréico y el medio freático superficial y profundo. Por tanto, en el *entorno* hay un aporte mayor de diversidad de hábitat, con más cercanía al medio externo, que en el caso de la cavidad principal. En la figura 5.3.1.c se puede observar que las cuevas del entorno presentan el menor número de individuos aislados: 256 individuos, 9% del total del material aislado procedente del entorno de Palomera. Sin embargo, el medio intersticial hiporréico, 834 ejemplares que suponen el 29% del total del *entorno*, y especialmente las surgencias, 1.365 ejemplares, el 48% del total del *entorno*, ofrecieron el mayor número de invertebrados aislados.

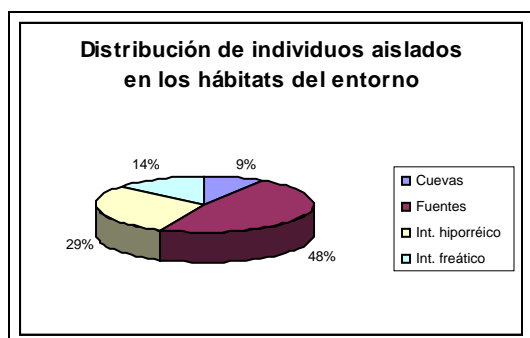


Figura 5.3.1.c. Distrib. individuos aislados.

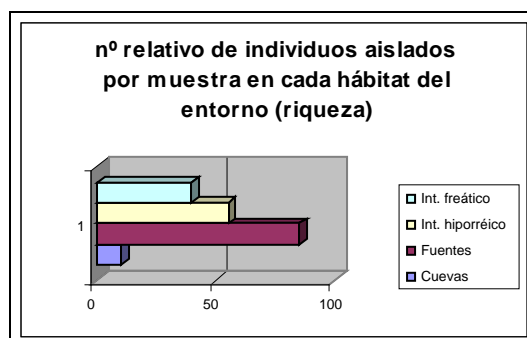


Figura 5.3.1.d. Nº relativo indiv. aislados/muestra.

Los individuos aislados e identificados pertenecen a 7 Phyla y 29 familias (Tabla 5.3.1.a). La mayor diversidad la acumulan los filos artrópodos y anélidos. Dentro de los artrópodos, el grupo más diverso en este complejo kárstico es el de los crustáceos, como ocurre en el medio subterráneo, en general.

Tabla 5.3.1.a. Relación de *taxa* identificados en la cueva Palomera y en el *entorno*. (*) taxón aparecido en la cavidad principal; (e) taxón aparecido en el *entorno*.

Phylum	Superclase/Cl./Subcl.	Superorden/Ord./Subord.	Superfamilia/Fam./Subfam.
Cnidaria	Hydrozoa	Hydroida	(*) (e)
Platyhelminthes	Turbellaria	Lecithoepitheliata	Prorhynchidae (*)
		Rhabdocoela	Typhloplanidae (*)
			Karkiorhynchidae (*)
		Seriata	Planariidae (*) (e)
Rotifera	Rotatoria	Ploimida	Brachionidae (*)
Nematoda			(e)
	Adenophorea	Dorylaimida	Dorylaimidae (*)
Phylum	Superclase/Cl./Subcl.	Superorden/Ord./Subord.	Superfamilia/Fam./Subfam.
Mollusca	Gastropoda	Prosobranchia, Neotaenioglossa	Hydrobiidae (*) (e)
			Lymnaeidae (e)
			Moitessieriidae (e)
		Pulmonata, Basommatophora	Ancylidae (*)
			Planorbidae (e)
			Ellobiidae (e)
	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae (*) (e)
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida	Haplotaxidae (*)
		Lumbriculida	Lumbriculidae (*) (e)
		Tubificida	Enchytraeidae (*) (e)
			Naididae (*) (e)
			Tubificidae (*) (e)
	Polichaeta	Aeolosomatida	Aeolosomatidae (*) (e)
	Hirudinea	Arhynchobdellida	Erpobdellidae (*)
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae (*) (e)
Arthropoda	Arachnida, Acariformes	Prostigmata	Limnohalacaridae (*) (e)
			Aturidae (e)
			Hydrachnellae (e)
			Hydryphantidae (e)
			Torrenticolidae (e)
	Crustacea, Branchiopoda, Cladocera		(*) (e)
	Crustacea, Ostracoda	Podocopida	Candonidae (*) (e)
			Cyprididae (e)
			Cypridopsidae (*) (e)
			Ilyocyprididae (e)
			Limnocytheridae (e)
	Crustacea, Copepoda	Cyclopoida	Cyclopidae (*) (e)
		Harpacticoida	Canthocamptidae (*) (e)
			Parastenocaridae (*) (e)
	Crustacea, Malacostraca	Bathynellacea	Paraiberobathynellidae (*) (e)
			Bathynellidae (*) (e)
		Amphipoda	Gammaridae (*) (e)
			Niphargidae (*) (e)
			Pseudoniphargidae (*)
		Isopoda, Asellota	Asellidae (*) (e)
			Stenasellidae (*) (e)
		Isopoda, Oniscidea	Trichoniscidae (*)
Tardigrada	Eutardigrada	Parachela	Hypsibiidae (*) (e)
			Macrobiotidae (*) (e)
		Apochela	Milnesiidae (e)

La fauna de las muestras del *entorno* aporta un número mayor de especies y asciende hasta las 113 especies, repartidas en 18 grupos taxonómicos y colectadas con sólo 66 muestras biológicas.

De las 72 especies que han aparecido en el interior de la Cueva, 31 de ellas lo hicieron sólo en Palomera y no en el *entorno*.

5.3.2. Determinación de las especies. Listados faunísticos. Estatus ecológico y endemismo de las especies subterráneas

Durante los estudios taxonómicos realizados por los diferentes especialistas que han colaborado en este estudio, se han recopilado los resultados de identificación de los ejemplares de la cueva Palomera y del *entorno* que aparecen en los apéndices 3 y 5 respectivamente. Los apéndices con el registro de las especies sólo refleja la presencia de las diferentes especies, no la abundancia, ya que el muestreo realizado fue de tipo cualitativo debido a la gran heterogeneidad espacial -volumen y naturaleza- y temporal -fluctuaciones estacionales- de los medios acuáticos considerados.

La diversidad de algunos grupos faunísticos está infravalorada por indeterminación de ciertos ejemplares, que no se han podido identificar debido a varias causas posibles: el estado de inmadurez de los ejemplares aislados, el deterioro o la pérdida de estructuras corporales con valor taxonómico o debido a un escaso número de ejemplares recogidos. También quedan pendientes de estudio grupos abundantes en este medio acuático: nematodos y cladóceros. Por tanto, está previsto que el número de especies conocidas en el complejo kárstico aumente en un futuro próximo, según vayan identificando el material que queda por revisar a los respectivos especialistas. La lista faunística completa de las muestras de la red principal de galerías aparece en la tabla 5.3.2.1.a, mientras que la lista de la fauna del *entorno* se recoge en la tabla 5.3.2.2.a.

En el apéndice 4 se ha recogido la fauna identificada procedente de la cavidad principal (cueva Palomera y La Torcona), vinculada con la fecha de recogida de las muestras y la localización y en el apéndice 6 la fauna del *entorno*.

Por el momento, en el Monumento Natural de Ojo Guareña se considera que existen 26 endemismos del propio enclave, o al menos de la Comarca o la región que ocupa de la Península Ibérica: 14 que han aparecido en Palomera y 12 que se han obtenido tan sólo en el *entorno*. En los apartados siguientes se detalla.

5.3.2.1. Listado faunístico de Palomera y endemismo de las especies subterráneas

En Palomera se ha aislado una fauna diversa perteneciente a varios grupos: una hidra, turbelarios, rotíferos, nematodos, moluscos gasterópodos y bivalvos, oligoquetos, hirudíneos, ácaros limnohalacáridos, tardígrados y diversos crustáceos: cladóceros, ostrácodos, copépodos harpacticoides y ciclopoideos, anfípodos, isópodos y sincáridos batineláceos.

Tabla 5.3.2.1.a. Listado faunístico de las especies acuáticas colectadas en las muestras de la cavidad principal (cueva Palomera y resurgencia en La Torcona). La clasificación general está basada en la publicación de Fauna Ibérica (<http://www.fauna-iberica.mncn.csic.es/proyecto/index.php>).

[Taxon] Nueva cita

[*] Cita antigua, taxón no encontrado en 2002-2004

Rojo: Taxón subterráneo estigobio / troglobio
Azul: Taxón estigófilo / troglófilo
Negro: Taxón estigoxeno / troglaxeno o desconocido

Cnidaria

Hydrozoa

Hydroida

Indet.

Platyhelminthes Turbellaria

Turbellaria

Lecithoepitheliata

Prorhynchidae

Prorhynchus stagnalis Schultze, 1851

Rhabdocoela

Typhloplanidae

Castrada sp.

Indet.

Karkinorhynchidae

Karkinorhynchus sp.1

Seriata

Planariidae

Phagocata vitta Dugès, 1830

Rotifera

Rotatoria

Ploimida

Brachionidae

Keratella sp.1

Nematoda

Indet.

Adenophorea

Dorylaimida

Dorylaimidae

Discolaimus sp.

Mollusca

Gastropoda

Prosobranchia Neotaenioglossa

Hydrobiidae

Belgrandiella sp.

"Paladilhopsis" septentrionalis Rolán y Ramos, 1995 (en La Torcona)

Potamopyrgus sp.

Pulmonata Basommatophora

Ancylidae

Ancylus fluviatilis (O.F. Müller, 1774)

Bivalvia

Veneroida

Sphaeriidae

Pisidium amnicum (O.F. Müller, 1774)

Pisidium casertanum (Poli, 1791)

Pisidium personatum Malm, 1855

Pisidium sp.

Annelida

Oligochaeta

Haplotaxida

Haplotaxidae

* *Delaya* (= *Haplotaxis*) *navarrensis* (Delay, 1973)

Lumbriculida

Lumbriculidae

Lumbriculidae indet.

Styiodrilus heringianus Claparède, 1862

Styiodrilus parvus (Hrabě y Cernosvitov, 1927)

Trichodrilus pragensis (Vejdovsky, 1875)

Trichodrilus tenuis Hrabě, 1960

Tubificida

Enchytraeidae

Enchytraeidae indet.

Achaeta sp.

* *Buchholzia fallax* Michaelsen, 1887

Cernosvitoviella cf. goodhui Healy, 1975

Cernosvitoviella sp.

Cognettia cf. glandulosa (Michaelsen, 1888)

Cognettia sphagnetorum (Vejdovsky, 1878)

Enchytraeus sp.

Fridericia sp.

Henlea sp.

Marionina cf. argentea

Marionina argentea (Michaelsen, 1889)

Marionina sp.

Naididae

Nais communis Piguet, 1906

Pristina (Pristinella) jenkiniae (Stephenson, 1932)

Pristina sp.

Tubificidae

Gianius navarroi Rodríguez & Achurra 2010

Limnodrilus hoffmesiteri Claparède 1862

Potamotheix bavaricus (Öschmann 1913)

Rhyacodrilinae indet.

Rhyacodrilus falciformis Bretscher, 1901

Rhyacodrilus sp.1. Rodríguez, sin publicar

Rhyacodrilus sp.2. Rodríguez, sin publicar

Spirosperma velutinus (Grube, 1879)

Tubificinae indet. con sedas capilares

Polichaeta

Aeolosomatida

Aeolosomatidae

Aeolosoma sp.

Hirudinea

Hirudinea indet.

Arhynchobdellida

Erpobdellidae

Dina cf. punctata punctata Johansson, 1927

Rhynchobdellida

Glossiphoniidae

Glossiphonia complanata (Linnaeus, 1758)

Arthropoda

Arachnida

Acari Prostigmata

Limnohalacaridae

Indet.

Superclase Crustacea

* Branchiopoda Cladocera

* Indet.

Ostracoda

Podocopida

Candonidae

Candona candida (O.F. Müller, 1776)

Candona neglecta G.O. Sars 1887

Pseudocandona albicans (Brady, 1864)

Cypria sp.

Candoninae gen. sp.1 Marmonier, sin publicar

Pseudocandona n. sp.2 Marmonier, sin publicar

Candoninae gen. sp.5 Marmonier, sin publicar

Cyprididae

Potamocypris cf. fulva (Brady, 1868)

Copepoda

Cyclopoida

Cyclopidae

Acanthocyclops n. sp.1 Jaume, sin publicar

Acanthocyclops robustus (Sars, 1863)

Diacyclops sp.

Diacyclops bicuspidatus Claus, 1857

Diacyclops bicuspidatus odessanus (Schmankevitch, 1875)

Diacyclops bisetosus (Rehberg, 1880)

Diacyclops crassicaudis Sars, 1863

Diacyclops languidus (GO Sars, 1863)

Diacyclops nanus (GO Sars, 1862)

Eucyclops serrulatus (Fischer, 1851)

Graeteriella (Graeteriella) unisetigera (Graeter 1910)

Megacyclops viridis viridis (Jurine, 1820)

Paracyclops fimbriatus (Fischer, 1853)

Speocyclops infernus (Kiefer, 1930)

Tropocyclops prasinus (Fischer, 1860)

Harpacticoida

Canthocamptidae

Attheyella (Attheyella) crassa (Sars, 1863)

Bryocamptus (Bryocamptus) minutus (Claus, 1863)

Bryocamptus (Limocamptus) echinatus (Mrázek, 1893)

Paracamptus schmeili (Mrazek 1893)

Parastenocaridae

Parastenocaris sp.

Malacostraca

Bathynellacea

Paraiberobathynellidae

* *Iberobathynella guarenensis* Camacho, 2003

Iberobathynella burgalensis Camacho, 2005

Bathynellidae

Vejdovskybathynella edelweiss n.sp. Camacho, 2007

Vejdovskybathynella n.sp.1 Camacho, sin publicar

n. gen. n. sp.1 Camacho, sin publicar

Amphipoda

Gammaridae

Echinogammarus sp.

Pseudoniphargidae

Pseudoniphargus burgensis Notenboom, 1986

Isopoda Asellota

Asellidae

Proasellus cf. *ortizi* Henry y Magniez, 1992

Stenasellidae

Stenasellus virei buchneri (Stammer 1936)

Isopoda - Oniscidea

* Trichoniscidae

* *Cantabroniscus primitivus* Vandel, 1965

Tardigrada

Eutardigrada

Parachela

Hypsibiidae

Hypsibius pallidus Thulin, 1911

Itaquascon placophorum Maucci, 1972

Mixibius saracenus (Pilato, 1973)

Macrobiotidae

Macrobiotus (Macrobiotus) hufelandii Schulze, 1834

En el Mundo se conoce un número escaso de especies estigobias estrictas entre los cnidarios, la mayoría de las especies son generalistas y epigeas. A mediados de los años 80 sólo se conocían 24 especies subterráneas (Clausen y Salvini-Plawen, 1986). El ejemplar estigófilo de hidra de la Cueva, colectado en la Galería del Teléfono - Gour de las Hojas, está pendiente de identificación: OG-10, 6-jul-2003.

Tres de los turbelarios aislados se consideran subterráneos estrictos: *Prorhynchus stagnalis* Schultze, 1851, *Karkinhynchus* sp.1 y *Phagocata vitta* Dugès, 1830.

Phagocata vitta es un turbelario tricládido ampliamente distribuido por Europa, hasta los Alpes y la región de los Balcanes, que habita medios ecológicos diversos: surgencias, acuíferos colgados, medio hiporréico y aguas de percolación en cuevas (Gorbault, 1986). Apareció un individuo en una muestra de la Sima Dolencias, en la cavidad principal. Debe habitar el epikarst, con alguna forma de resistencia a la falta de agua o siguiendo las fluctuaciones del nivel freático, puesto que tanto en el lago que hay en la base de la sima, como en el arroyo Villamartín que lo alimenta, el nivel del agua desciende rápidamente y ambos permanecen secos la mayor parte del año.

Karkinhynchus Meixner, 1928 es un turbelario no tricládido que habita el medio hiporréico. El género se encuentra distribuido en Europa central y occidental. En Ojo Guareña se ha obtenido con una muestra de la Granja de Ortiz, OG-14, pero no se pudo llegar a su identificación específica debido a que era un individuo inmaduro. El ejemplar encontrado en Ojo Guareña se considera estigófilo.

Prorhynchus stagnalis es un microturbelario, no tricládido, estigobio y con la forma redondeada típica de la familia Prorhynchidae. Esta familia está representada en España por dos géneros y tres especies. Del género *Prorhynchus* Schultze, 1851 se conocían seis especies estigobias en el centro y oeste de Europa (Schwank, 1986). La especie que aparece en Ojo Guareña es la única hallada en la Península Ibérica de este género (<http://iberfauna.mncn.csic.es>, 2004) y, a su vez, es un caso aislado en su género en cuanto a su distribución cosmopolita. No se han detectado más especies del mismo género fuera del continente europeo, mientras que esta especie se ha encontrado en diversas islas atlánticas, Asia Central y Japón y Continente Americano, en muy diversas latitudes. Presenta caracteres típicos de los subterráneos, sin pigmentos tegumentarios y ceguera. Especie cosmopolita y eurióica: se ha hallado en aguas dulces (medios intersticiales de lagos, hiporréico, pozos, charcas y otros hábitat), incluso en aguas salobres (Noreña *et al.*, 2007). Se ha registrado su presencia en distintos ríos españoles (Gamo y Noreña-Janssen, 1998). En Ojo Guareña se ha detectado su presencia en el lago subterráneo que hay en la base de la Sima Dolencias, en el límite entre el Sector Occidental y el Sector Central. Dicho lago se alimenta esporádicamente con las aguas del arroyo Villamartín, durante las crecidas.

El Phylum Rotifera se ha encontrado en aguas de la cueva de Ojo Guareña, algunos estigófilos del género *Keratella* Bory De Saint Vincent, 1822 de los que no se ha podido llegar a determinar la especie.

Se han encontrado moluscos en muestras de distintas localizaciones de la cavidad principal, sin embargo sólo había una especie subterránea entre ellos, en el Sector Resurgencia: "*Paladilhiopsis*" *septentrionalis* Rolán y Ramos, 1995, molusco hidróbido endémico de la Península Ibérica, concretamente procedente de la surgencia de la Torcona. La familia de los hidróbidos está representada en la Península Ibérica por 24 géneros. El género *Paladilhiopsis* Pavlovic, 1913 tiene esta especie como única representante en la Península Ibérica (Arconada y Ramos, 2004), pero en Europa existen 14 especies (Bank, 2004). Otros gasterópodos aparecidos en las muestras de la Cavidad son terrestres -*Zospeum* Bourguignat, 1856, Zonitidae indet. y Orculidae indet.-, pero necesitan un ambiente muy húmedo y sombrío para sobrevivir y las corrientes de agua los arrastran fácilmente. Existe una especie acuática, *Zospeum exiguum* Kuščer, 1932, del mismo género que algunos gasterópodos aparecidos en Ojo Guareña, pero es la única especie acuática de su género y no corresponde con el material revisado aquí.

En la Península Ibérica se conocen 21 especies de oligoquetos estigobios, la mayoría de ellas descubiertas en los últimos años, con una densidad muy baja y un elevado índice de endemidad (11 de las 21 especies estigobias), Rodríguez y Achurra, 2010. En la Cavidad se han encontrado 8 especies de oligoquetos subterráneos *s.l.*, 3 de ellos estigobios: *Delays navarrensis* (Delay, 1973), *Trichodrilus tenuis* Hrabě, 1960 y una nueva especie de Phalloporilinae *Gianius navarroii* Rodríguez & Achurra 2010.

En Ojo Guareña, del mismo modo que ocurre en la región francesa de Aquitania, junto a la Península Ibérica, destacan tubífidos y lumbrícidos entre los oligoquetos cavernícolas más comunes. Uno de los tres oligoquetos estigobios detectados es *Delays navarrensis*, haplotáxico endémico de la Península Ibérica que habita las cuevas y que se descubrió por primera vez en Navarra -cueva de Akelar- y Guipúzcoa -cueva de Aitzquiri-. La familia Haplotaxidae tiene numerosas especies estigobias y endémicas. En Europa hay dos géneros de la familia Haplotaxidae, *Delays* Brinkhurst, 1988 y *Haplotaxis* Hoffmeister, 1843, ambos presentes en la Península Ibérica. Del género *Delays*, en la Península se conocen las especies *D. cantabronensis* (Delay, 1973) y *D. navarrensis*, mientras del otro género sólo se conoce la especie *Haplotaxis gordioides* (Hartmann, 1821). En los años 80 ya había registro de siete especies estigobias de la familia, Juget y Dumnicka, 1986. Está citada su presencia en Palomera, pero durante este estudio no se ha identificado entre los oligoquetos extraídos. Es habitual que los Enchytraeidae prevalezcan numéricamente en las poblaciones, a pesar de que Parvidrilidae y Haplotaxidae suelen caracterizar mejor las comunidades de oligoquetos (Giani *et al.*, 2001).

Trichodrilus tenuis es un lumbricúlido estigobio que habita aguas subterráneas del acuífero aluvial del alto Rhin (Francia) y del río Ruhr (Alemania) (Juget y Dumnicka, 1986) y en agua de percolación, en cuevas, del mismo modo en que se ha observado en Ojo Guareña. De la familia Lumbriculidae se ha descrito la presencia de diez géneros en Europa, tres hallados en la

Península Ibérica: *Lumbriculus*, *Stylodrilus* y *Trichodrilus*, siendo estos dos últimos los que se han identificado entre otros oligoquetos de la *cavidad principal*. Las especies del género *Trichodrilus* habitan distintos medios subterráneos, pero tienen preferencia por las aguas de percolación epikársticas y por aguas freáticas en acuíferos aluviales (Juget y Dumnicka, 1986). En la Cueva ha aparecido exclusivamente en dos colectas de la Granja de Ortiz, OG-14, las dos en 2002, en los meses de agosto y noviembre.

La subfamilia Phallodrilinae es frecuente en el medio marino y en aguas salobres, desde la zona supralitoral hasta los fondos abisales (Pfannkuche, 1986), sin embargo, se conocen pocas especies de hábitat de agua dulce calcáreas (Erséus, 1992, Martin *et al.*, 2008). En Ojo Guareña se ha aislado una nueva especie, Phallodrilinae cf. n.sp. 1, que muy probablemente es un endemismo de esta región de las Merindades. Dicha subfamilia a la que pertenece se describió a finales del Siglo XX y está formada por especies de distribución eminentemente noratlántica (América del Norte y Europa), aunque también se ha detectado en las Islas Comoro, el sur de China y noroeste de Australia (Erséus, 1981; Wang y Erséus, 2001; Erséus y Wang, 2003); las especies ocupan regiones limitadas y son frecuentemente endémicas. Esta nueva especie de oligoqueto se ha encontrado en Palomera en cuatro ocasiones, en distintas ubicaciones del *recorrido habitual*: en tres localizaciones del Gour de las Hojas -OG-08, OG-10 y OG-15- y en la Sala Edelweiss -Galería Principal, OG-09-. Además se ha detectado en el *entorno* otra nueva especie de la familia, en una sola ocasión: Phallodrilinae n. sp. 2, en el Arroyo de la Hoz. Las cinco muestras en que se encontró la nueva especie de Palomera se colectaron en dos expediciones: Noviembre de 2002 y marzo de 2003.

En el *recorrido habitual* de Palomera se han hallado otros seis oligoquetos estigófilos, Lumbriculidae, Naididae y Tubificidae. Estaban distribuidos a lo largo de este recorrido, en la mayoría de las ubicaciones: OG-02, OG-07, OG-08, OG-10, OG-12, OG-14 y OG-15. Se trata de las especies *Stylodrilus heringianus* Claparède, 1862, *Stylodrilus parvus* (Hrabě y Cernosvitov, 1927), *Trichodrilus pragensis* (Vejdovsky, 1875), *Marionina argentea* (Michaelson, 1889), *Pristina (Pristinella) jenkiniae* (Stephenson, 1932) y *Rhyacodrilus falciformis* Bretscher, 1901.

Respecto del Phylum Tardigrada, se han encontrado varias especies, pero ninguna de ellas se ha reconocido como especie afín al medio hipogeo, sino que debe tratarse de intrusiones puntuales de especies epigeas en el medio subterráneo. Se han obtenido únicamente en muestras de 2002 y en época invernal -enero, febrero y diciembre-, probablemente internándose en el medio subterráneo como una estrategia supervivencia, evadiéndose de las temperaturas bajo cero que predominan en este paisaje montano.

Se han encontrado escasos ácaros Limnohalacaridae, en algunas muestras recogidas en 2002 y 2003, pero no se han podido determinar por tratarse de ejemplares fragmentados y formas

juveniles. Además presentan una dificultad adicional para su identificación, que es su extremada dispersión, ya que aparecen en número muy escaso, habitualmente un único individuo. En los años 80 se conocían unas 60 especies en todo el Mundo, de las cuales un 30% son subterráneas estrictas con poblaciones establecidas principalmente en medio hiporréico y en el verdadero freático -en acuíferos aluviales alejados de cursos de agua superficial- (Schwoerbel, 1986).

Los crustáceos tienen una representación importante en el medio acuático, en general y particularmente en el mundo subterráneo. Ostrácodos y copépodos son dos grupos muy diversos y abundantes.

La mayoría de los ostrácodos conocidos de la Cueva pertenecen al grupo de los Candoninae. Esta subfamilia es el grupo más diversificado de ostrácodos que han colonizado el medio subterráneo. Pertenece al Orden dominante entre los ostrácodos hipogeos europeos, el Orden Podocopida, y se trata de la subfamilia más abundante en Europa entre estos (Danielopol y Hartman, 1986). De la subfamilia Candoninae ya se conocían a finales del Siglo XX once géneros y 74 especies, establecidos en cuatro continentes: América, Europa, Asia y Oceanía. Habitan principalmente medios subterráneos ligados a los ríos, medio hiporréico y aguas freáticas en depósitos aluviales, a mayor o menor distancia de los ríos, aunque también se han encontrado numerosas especies en agua del epikarst, en cuevas. En el *entorno* se han determinado más especies estigobias que en la cavidad principal: en Palomera hay seis especies subterráneas, sólo dos de ellas estigobias, una nueva especie de *Pseudocandona* Kaufmann, 1900 de forma trapezoidal, *Pseudocandona* n. sp.2 y en el Sector Resurgencia un nuevo género y especie de Candoninae triangular: gen. sp.5. Ésta ha aparecido de modo muy restringido en el complejo, en cinco ocasiones diferentes de 2002 y 2003: en la Sala Edelweiss, OG-09 Galería Principal, además de en otras tres cuevas del núcleo central del complejo kárstico -Sima Jaime, Cueva la Mina y Sima de las Llanas-, en 2003. Por tanto, esta nueva especie de Candoninae sólo se ha encontrado en aguas subterráneas del epikarst superficial, agua de percolación retenida en cuevas.

Los copépodos tienen una gran riqueza de especies en la región Paleártica, 1.024 especies, de las cuales el 55% se reparten de forma homogénea entre dos familias:

- Cyclopidae: primordialmente *Diacyclops* Kiefer, 1927, *Eucyclops* Claus, 1893, *Acanthocyclops* Kiefer, 1927 y *Speocyclops* Kiefer, 1937, los cuatro con representación en Ojo Guareña y tres nuevas especies para la ciencia de los géneros *Acanthocyclops* y *Diacyclops*, y
- Canthocamptidae, en especial: *Elaphoidella* Chappuis, 1929, *Moraira* Scott T. y Scott A., 1893, *Bryocamptus* Chappuis, 1928 y *Attheyella* Brady, 1880, estos dos últimos encontrados en Ojo Guareña.

En general, los copépodos con mayores adaptaciones a la vida subterránea son los géneros *Speocyclops* y *Graeteriella* Brehm, 1926, con una presencia importante en Europa. Ambos se han hallado en Ojo Guareña compartiendo algunos hábitat entre ellos, segregadas de otras especies: un nuevo estigobio para la ciencia del género *Acanthocyclops*, otras estigófilas -p.e. algunas especies de *Diacyclops*- y estigoxenas. Todos estos géneros de Cyclopoida pertenecen a Cyclopidae, que es una de las familias cosmopolitas, presente en todas las regiones biogeográficas exceptuando la antártica (Boxshall y Defaye, 2008). En 15 años, sólo en esta familia de copépodos ciclópodos se ha pasado del conocimiento de unas 670 (Lescher-Moutoué, 1986) a 900 especies y subespecies pertenecientes a 43 géneros (Dole-Olivier *et al.*, 2000).

Dada su abundancia y su amplia distribución, es uno de los grupos de crustáceos sobre el que se tiene mayor conocimiento, en cuanto a su taxonomía, sistemática, biogeografía y su ecología.

Los copépodos ciclopoides, *Macrocyclops* Claus, 1893, *Eucyclops*, *Tropocyclops* Kiefer, 1927 y *Paracyclops* Claus, 1893 entre otros géneros, son buenos nadadores mientras que los harpacticoides tienen habilidad para excavar, aunque en algunos se ha observado mayor habilidad para la reptación: *Megacyclops viridis viridis* (Jurine, 1820) y algunas especies de *Paracyclops* y *Eucyclops*, entre otros.

En cuanto a la alimentación, los harpacticoides son detritívoros, se nutren a base de detritos y biopelículas. Sin embargo, hay otros copépodos con hábitos diferentes: herbívoros -p.e. *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851), *Diacyclops bisetosus* (Rehberg, 1880), *Diacyclops languidus* (GO Sars, 1863)-, omnívoros -*Paracyclops fimbriatus* (Fischer, 1853)- y carnívoros -grandes ciclopoides como: el complejo *Megacyclops viridis*, *Megacyclops albidus* (Jurine, 1820) y *Acanthocyclops robustus* (GO Sars, 1863)-.

En cuanto a las condiciones físico-químicas:

- temperatura: existen especies estenotermas de aguas frías -*Maraenobiotus vej dovskyi truncatus* (Gurney, 1932), *Epactophanes richardi* Mrázek, 1893 y algunas especies de *Bryocamptus*- y estenotermas aguas templadas -*Tropocyclops prasinus* (Fischer, 1860) y algunos *Mesocyclops* Sars, 1914-.
- oxígeno: hay copépodos estenóicos, sensibles a las condiciones de hipoxia -*Diacyclops languidus s.l.*, *Diacyclops languidoides s.l.* y resistentes -*Parastenocaris* spp., *Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus*-.
- pH: valores cercanos a la neutralidad favorecen la presencia de mayor variedad de spp. Sin embargo, también hay ejemplos de especies tolerantes: *Diacyclops bisetosus*, *Bryocamptus pygmaeus* (Sars, 1863), *Paracyclops fimbriatus*.

Hay especies más generalistas que no parecen tener una preferencia especial por uno de los dos ambientes y se encuentran tanto en el benthos como el hiporreos, entre otros: *Paracyclops fimbriatus*, *Eucyclops serrulatus*, *Acanthocyclops robustus*, *Diacyclops bisetosus*, *Attheyella* (*Attheyella*) *crassa* (Sars, 1863), *Bryocamptus zschokkei* (Schmeil. 1893), *Bryocamptus*

pygmaeus, *Bryocamptus minutus* (Claus, 1863), *Paracamptus schmeili* (Mrazek 1893) y *Moraira poppei* (Mrazek 1893).

Acanthocyclops se ha encontrado en distintos puntos de la región Paleártica, desde los Pirineos hasta Japón. Habita principalmente el medio freático profundo (acuíferos aluviales distantes de los ríos) y en la zona vadosa del epikarst, habiéndose hallado en distintos hábitat en cueva (Lescher-Moutoué, 1986) y se considera que tienen hábitos carnívoros (Hopp y Maier, 2005). Recientemente se conocían en Europa 27 especies y subespecies de *Acanthocyclops* - Boxshall y Defaye, 2004-. En la Cueva se ha encontrado exclusivamente en un emplazamiento, en OG-10, Gour de las Hojas en la Galería del Teléfono, en las incursiones de noviembre de 2002 y enero de 2003, por lo que podría tratarse de una especie estenóica y con densidades poblacionales muy bajas, que denota una preferencia por esa franja del epikarst en la que sólo se han detectado dos estigobios mas: el isópodo *Stenasellus virei buchneri* (Stammer, 1936) y la nueva especie de oligoqueto Phallodrillinae n. sp. 1.

El género *Diacyclops* tiene una distribución amplia, habiéndose encontrado distintas especies en Europa, Asia y Norteamérica (Lescher-Moutoué, 1986). Hay varias especies estigófilas de este género en Ojo Guareña. Entre los copépodos de Palomera se han identificado las siguientes:

- *Diacyclops bicuspidatus* Claus, 1857
- *Diacyclops bicuspidatus odessanus* (Schmankevitch, 1875)
- *Diacyclops crassicaudis* Sars, 1863
- *Diacyclops languidus*
- *Diacyclops nanus* (GO Sars, 1862), que es el copépodo que aparece con mayor frecuencia en la Galería de Italianos, OG-12.

Graeteriella (*Graeteriella*) *unisetigera* (Graeter 1910) es un copépodo ciclopoide, estigobio y endémico de la zona perimediterránea, hasta el momento encontrado en Europa Occidental. Habita aguas de la zona vadosa (cuevas), en aguas freáticas profundas (acuíferos aluviales alejados de los ríos) y freáticas someras (medio hiporréico) (Lescher-Moutoué, 1986). Del género *Graeteriella* existen ocho especies y subespecies en Europa. Presentan adaptaciones al medio subterráneo muy acusadas: morfología general tendente hacia un cuerpo vermiforme, como el grupo Harpacticoidea, despigmentación y anoftalmia o microftalmia muy acusada, estrategia reproductiva de la *K* (pocos huevos en cada ciclo reproductivo y de mayor tamaño que sus relativos epigeos) y mayor longevidad de los individuos. Esta especie sólo se ha encontrado en la parte occidental del *recorrido habitual*, en dos localizaciones: OG-02 y OG-08, y no se ha encontrado en el resto de muestras del complejo kárstico. Esto indica que es una especie estenóica y especialista, con una densidad poblacional baja y que puede ocupar un área reducida del karst, en la zona más superficial del mismo, en el epikarst.

Del género *Speocyclops* se conocían 41 especies y subespecies estigobias, presente en zonas montañosas de Eslovenia, Italia y norte de España, así como en las cuencas de los ríos Rhin y

Rhône. La gran mayoría de las especies se han encontrado en el medio epikárstico, en distintos hábitat de cuevas (Lescher-Moutoué, 1986). *Speocyclops infernus* (Kiefer, 1930), que está presente en la cavidad principal, se ha detectado anteriormente en agua de percolación de epikarst, cuevas de Francia, Italia y Eslovenia. Dentro de Palomera habita cuatro lugares que corresponden con los que reciben un mayor caudal de agua de percolación, OG-08, OG-09 y OG-14 y más próximos a la entrada de la Dolina Palomera: OG-14, OG-09 y OG-16. Esta especie que ha aparecido en 13 ocasiones en la cavidad principal no se ha detectado en ningún otro lugar del complejo kárstico, lo que indica que debe existir una población con una densidad importante establecida en el epikarst de este Sector Central-Dédalo Oeste de Ojo Guareña.

Parastenocaris Kessler 1913 es un género de copépodos harpacticoides muy diverso que contaba con 167 especies y subespecies descritas en los años 80, muy ampliamente distribuido por el Hemisferio Norte. Este género aparece frecuentemente en el hiporreos y en acuíferos colgados (medio telminorréico), aunque dada su gran diversidad también hay especies que se encuentran en el medio freático profundo (pozos en depósitos aluviales), surgencias, aguas salobres y en el medio marino, en la zona sublitoral (Rouch, 1986). En Ojo Guareña hay individuos de este género que no se han podido determinar a nivel de especie y se han encontrado exclusivamente en tres muestras procedentes de OG-14 y OG-38, ya que no se ha hallado en todo el resto de las localizaciones del estudio.

En la Cueva destaca OG-10, Gour de las Hojas, por la abundancia y diversidad de copépodos ciclopoideos: del agua de este emplazamiento se han aislado 9 de las 14 especies de copépodos ciclopoideos, dos de ellas han aparecido sólo en esta localización de la cavidad principal: *Acanthocyclops* n. sp. y *Diacyclops bicuspidatus odessanus*, considerados estigobio y estigófilo respectivamente y *Acanthocyclops robustus* sólo se detectó en esta localización y en otra muestra del Sector Resurgencia.

Los crustáceos isópodos acuáticos están representados en la Cavidad por tres familias: Asellidae, Stenasellidae y Oniscidae. Durante este trabajo se han encontrado el asélido estigófilo *Proasellus* cf. *ortizi* y el estenasélido estigobio (*Stenasellus virei buchneri*).

Los crustáceos isópodos tienen una amplia representación en la Península Ibérica, con 46 familias distribuidas en 8 subórdenes. Los oníscideos forman un suborden aparte, el cual incluye especies terrestres y el anfibio *Cantabroniscus primitivus* Vandel, 1965.

Los isópodos asélidos y estenasélidos son todos dulceacuícolas y comprenden la mayoría de las especies de los Asellota de agua continental: 379 especies de asélidos y 73 especies de estenasélidos (Wilson, 2008). Los Asellidae se distribuyen casi exclusivamente por las regiones paleártica y neártica, mientras que los Stenasellidae tienen también una presencia importante en las regiones afrotropical (sur de África) y oriental (India).

En 1986 se conocían 115 especies y subespecies subterráneas pertenecientes al género *Proasellus* Dudich, 1925, todas ellas habitantes de las áreas perimediterránea y atlántica, desde la región caucásica, al este, hasta Gran Bretaña, Francia, Portugal, Madeira y Marruecos, al oeste (Henry *et al.*, 1986). En la Península Ibérica, en la actualidad se conocen 30 especies y subespecies. Ocupan todo tipo de ambientes de agua dulce: epikarst (pequeñas acumulaciones de agua de percolación en cuevas, acuíferos colgados), medio freático profundo, surgencias, medio hiporréico, sin mostrar una preferencia marcada por alguno en concreto.

El género *Stenasellus* Dollfus, 1897 (Isopoda Stenasellidae) tiene una distribución más amplia que el anterior, como corresponde a su familia, habiéndose encontrado en Europa, Asia, África y América (Magniez, 2001), a pesar de que se conocen menos especies del género. Éste presenta gran afinidad por el agua de las cuevas, bien el agua de percolación que se acumula en charcos o *gours*, bien en aguas de escorrentía o en zonas saturadas, más que en otros hábitat en los que igualmente se han encontrado en Ojo Guareña: *S. virei virei* Dollfus, 1897 y *S. virei angelieri* Magniez, 1968, *S. nobrei* Braga, 1942, *S. brignoli* Pesce y Argano, 1981- encontradas en aguas freáticas verdaderas y surgencias, en las que se han hallado *S. virei hussoni* Magniez, 1968, *S. virei virei* y *S. virei angelieri*, entre otros medios ecológicos.

Las diferentes especies de isópodos son endémicas de pequeñas áreas geográficas, a excepción de algunas como *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) que está ampliamente distribuida en la región paleártica. Hay 12 especies y subespecies europeas de *Stenasellus*, 9 de las cuales están presentes en la Península Ibérica. *Cantabroniscus primitivus* es una especie anfibia y estigobia, único representante de dicho género de isópodos oniscoideos y endemismo de la Cordillera Cantábrica. Su presencia en la Cavidad está citada por Eugenio Ortiz, pero en el transcurso de nuestras investigaciones no se ha detectado. El género *Proasellus*, propio del área perimediterránea, se presenta más extendido y diversificado en la mitad occidental, impresión que se puede deber al estudio más intensivo de las aguas en esta parte. *Proasellus cf. ortizi* es una nueva cita para la cueva de Ojo Guareña. Previamente se conocía de fuentes, cuevas y medio hiporréico de Cantabria (Asón, Matienzo) y Burgos (Sotoscueva, en los alrededores de la cavidad principal).

Los isópodos tienen una presencia destacada en la Cavidad, en especial *Stenasellus virei buchneri* que ha aparecido en 26 muestras de nueve ubicaciones en la cavidad principal, OG-02, OG-09, OG-10, OG-14, OG-21, OG-39, OG-40, OG-44, OG-53, además de en cinco muestras de cuatro localizaciones del *entorno*: Cueva García, Cueva de la Ermita de San Bernabé, Cueva de las Llanas y Fuente Salce. En el Monumento Natural de Ojo Guareña, esta especie parece tener una mayor preferencia por el hábitat cavernícola en sentido estricto, ocupando la zona vadosa en partes someras del epikarst, a diferencia de lo que ocurre en el resto de su área de distribución donde ocupa igualmente el epikarst, el medio hiporréico y el freático profundo. Tiene una mayor presencia en la Granja de Ortiz, OG-14, y en la Segunda Axial, OG-39, OG-40 y OG-44, donde

hay un nivel de agua más estable durante todo el año y disponen de gran cantidad de materia orgánica en forma de detritos. En estos lugares también se encuentra otra fauna de menor tamaño de la que se puede alimentar este isópodo omnívoro-detritívoro y con capacidad depredadora, el cual constituye uno de los eslabones finales en la cadena alimenticia en el epikarst. Tiene un gran tamaño relativo a las especies presentes en este hábitat, con gran capacidad motriz y puede comportarse como especie generalista en ambientes estigobios.

Los crustáceos anfípodos subterráneos presentes en Ojo Guareña se limitan a una especie, *Haploginglymus* sp., perteneciente a la familia Niphargidae. En la Península Ibérica se conocen tres subórdenes:

- Caprellidea, con 16 especies incluidas en seis géneros y tres familias,
- Gammaridea, con 120 géneros y 350 especies en la Península Ibérica, clasificadas en 40 familias y una especie *incertae sedis* -*Sensonator valentiensis* Notenboom, 1986- e
- Ingolfiellidea, con una única especie en la Península Ibérica, *Ingolfiella* (*Tyrrhenidiella*) *catalanensis* Coineau, 1963.

La mayoría de estas 367 especies son epigeas. En la Península Ibérica se conoce la presencia de anfípodos estigobios por los estudios de Ramón Margalef (1953), quien cita: *Pseudoniphargus africanus* Cheverux, 1901 en la Cornisa Cantábrica, *Metacrangonyx longipes* Chevreux, 1909 en las Islas Baleares y *Niphargus ciliatus cismontanus* Margalef, 1952 en Guipúzcoa (Margalef, 1952, Margalef, 1953, Notenboom, 1990). Rufo (1953) citó la presencia de un anfípodo *Bogidiella* Hertzog 1933 en Barcelona y Mateus y Maciel describieron *Bogidiella helenae* Mateus y Maciel, 1967 procedente del río Duero a su paso por Portugal. El género *Salentinella* Bousfield, 1977 lo reseña por primera vez en España Margalef (1970a) de una cueva en Alicante, al mismo tiempo que anota la presencia de pseudonifargos en el sur de España, en el Pirineo central y en Cataluña. Hay otras citas sobre la presencia de *Pseudoniphargus* en el norte de la Península Ibérica: Ortiz, 1968, Villota y Galán, 1970, Margalef 1970b, Gomarín Guirado, 1978, Escolà, 1980 y Camacho *et al.*, 2006a. Mateus y Mateus describen *Hadzia tavaresi* (Mateus y Mateus, 1972) de pozos junto a las costas del sur de Portugal. En 1977 Stock describe un nuevo género para acomodar el taxón de Mateus Mateus: *Metahadzia* Stock, 1977. Stock (1980a) también describió una segunda especie de *Haploginglymus* Mateus y Mateus, 1958 del medio hiporréico en la Cornisa Cantábrica y en el mismo año reconoció la existencia de cinco nuevas especies de *Pseudoniphargus* en la Península (Stock 1980b). Finalmente, Karaman (1986) escribe de la existencia de una nueva especie en Guadalajara y Pretus y Sabater describen *H. bergae* Pretus y Sabater 1990 de un manantial en el pre-Pirineo catalán.

El género de *Pseudoniphargus* (Amphipoda) habita la región mediterránea-occidental (Balcanes, Francia, Península Ibérica, Norte de África) y las Islas Azores (Coineau *et al.*, 1994). Se han colectado en diferentes medios subterráneos (cuevas, surgencias y pozos). Hasta 2004 se

habían descrito 45 especies en Europa (Boxshall y Vonk, 2004) a las que hay que añadir 4 nuevas, 49 en total: Messouli *et al.*, 2006; Bréhier y Jaume, 2009. La mayoría se han descrito en los últimos 30 años (45 de las 49 especies). En la Península Ibérica hay descritas 38 especies de *Pseudoniphargus*. Durante el presente estudio sólo se ha encontrado en dos puntos próximos entre sí de la cavidad principal, OG-45 y OG-46 en la Galería de Italianos que se encuentra en un nivel topográfico inferior. Indica una preferencia por zonas más profundas del epikarst que la mayoría de los taxones vistos hasta el momento. Comparte con *Stenasellus* un tamaño corporal superior a la mayoría de la fauna subterránea del karst, lo que hace suponer que es uno de los eslabones superiores en la cadena de alimentación, pudiendo nutrirse de todos los detritus que llegan al fondo del epikarst, así como de otros microcrustáceos, nematodos, oligoquetos y otra fauna de menor tamaño que encuentran en el agua del acuífero subterráneo.

Destacan los sincáridos batineláceos pertenecientes a las familias Parabathynellidae y Bathynellidae, todos estigobios, como la gran mayoría de los Syncarida. Con ellos se finaliza la revisión de los crustáceos y del resto de la fauna acuática subterránea de Ojo Guareña.

Actualmente la familia Parabathynellidae está integrada por 44 géneros y 168 especies (Camacho *et al.* 2011; Camacho *et al.*, 2012). Los parabatinélidos se encuentran con mayor frecuencia en el hiporreos, aunque también se han encontrado en aguas freáticas profundas y en la zona vadosa del epikarst, en algunas surgencias e, incluso, en aguas salobres de Madagascar (especies de *Habrobathynella* Schminke, 1973). En la Península Ibérica se ha pasado de un registro de 10 especies en los años 80 a más de 30 especies (Camacho, 2003b) procedentes del medio hiporréico y de la zona vadosa del epikarst. La familia Parabathynellidae está ampliamente distribuida y más diversificada en regiones templadas y tropicales. Algunos géneros son endemismos de regiones concretas, como *Hexaiberobathynella* Camacho & Serban, 1998, *Guadalopecathynella* Camacho y Serban, 1998 e *Iberobathynella* Schminke, 1963, cuya distribución se limita a la Península Ibérica y Baleares (Camacho y Valdecasas, 2008). Se ha detectado la presencia de una nueva especie de esta familia en la Cavidad, *Iberobathynella burgalensis* Camacho, 2005 en una única muestra de OG-53 acceso al río de los Erizos, en el Dédalo Oeste, al final del estudio en 2004.

La familia Bathynellidae tiene una representación global de 28 géneros y 98 especies y subespecies (Camacho, 2003b y posteriores), habiéndose aumentado el registro considerablemente en 20 años: más del doble de géneros, antes se reconocían 12 géneros, y más de una veintena de especies nuevas, sobre las 66 especies y subespecies que había descritas a mediados de los 80 (Schminke, 1986). Las especies de esta familia presentan una afinidad marcada, en orden decreciente, por: el agua procedente directamente de la zona vadosa del epikarst (como los *gours* en cuevas), la zona freática profunda y el medio hiporréico. En la Península Ibérica se conocen en la actualidad cinco especies de esta familia (Camacho, 2007). La

familia Bathynellidae tiene una distribución más amplia que Parabathynellidae, con mayor diversidad en el Hemisferio Norte.

De la familia Bathynellidae hay dos especies residentes en la cavidad principal, una cuyo nombre específico se ha puesto en honor al complejo kárstico y al grupo espeleológico burgalés, *Vejdovskybathynella edelweiss* Camacho, 2007 y un nuevo género para la ciencia, n. gen. n. sp. Estas dos especies solapan sus hábitat y tienen una presencia destacada en OG-09 y OG-16, ambas localizaciones cercanas entre sí y próximas a la entrada de la Dolina Palomera. *Vejdovskybathynella edelweiss* ha aparecido de forma repetida en OG-01 en exclusiva, donde no se ha colectado el nuevo género. El agua que rellena OG-01 y OG-16 desciende su nivel hasta desaparecer en escasas semanas, lo que indica que las poblaciones de batineláceos que se han encontrado en ella deben estar de modo transitorio y provienen de agua de lavado que atraviesa la franja más superficial del epikarst, donde debe residir una población importante de este crustáceo. En OG-09 tienen más posibilidades de sobrevivir a lo largo del ciclo anual, puesto que no llega a secarse del todo; pero el nivel del agua desciende mucho, hay una filtración intensa y para mantener el nivel de agua que hay gran parte del año, este gran *gour* recibe agua de una filtración difusa constante y abundante en conjunto, que puede aportar nuevos individuos a la población de batineláceos y encontrarse en tránsito hacia niveles inferiores del karst, más que residir en el propio *gour*.

Hay 14 especies que se consideran endémicas de este paraje natural o de la región entre las identificadas de la cavidad principal: “*Paladilhops*” *septentrionalis*, *Delays navarrensis*, *Gianius navarroi*, *Pseudocandona* n.sp.2, Candoninae gen.sp.5, *Acanthocyclops* n.sp.1, *Iberobathynella guarenensis* Camacho, 2003, *Iberobathynella burgalensis*, *Vejdovskybathynella edelweiss*, *Vejdovskybathynella* n.sp. 1, Bathynellidae n.gen.1 n.sp.1, *Pseudoniphargus burgensis* Notenboom, 1986, *Cantabroniscus primitivus* y *Stenasellus virei buchneri*.

En un plano temporal, la fauna ha presentado una escasa reincidencia en una misma localización y fechas distintas. El caso más favorable es el de OG-10, en el que se repiten 10 taxones entre los 26 identificados en las 17 muestras biológicas colectadas en él. Sin embargo, otras localizaciones han presentado una fauna menos persistente, incluso casos como OG-14, en el que se ha observado fauna en todas las visitas de *visu*, pero ha habido numerosos taxones de aparición exclusiva en una única fecha y algunas muestras en las que no se ha obtenido ningún ejemplar, como las captaciones de goteos de marzo a septiembre de 2002 y el de abril de 2004, en las que no se ha hallado ningún ejemplar acuático subterráneo, aunque sí se han registrado larvas de insecto o moluscos terrestres.

5.3.2.2. Listado faunístico del *entorno* y endemidad de las especies subterráneas

En el entorno de Palomera el número de especies es mayor y aparecen 42 taxones más que se añaden a la lista de los 82 encontrados en Palomera, lo que supone un total de 124. Sin embargo, el número de estigobios y subterráneos total (estigobios y estigófilos) es muy parecido en ambos casos.

A continuación, en la tabla 5.3.2.2.a se recoge el listado faunístico obtenido del conjunto de las muestras del *entorno*, con el detalle del estatus ecológico de las especies y el comentario posterior, comparando con la fauna de la cavidad principal. Para obtener un mayor detalle de las fechas de muestreo y el total de la fauna obtenida por localización, se puede acudir a los apéndices 4, especies identificadas en Palomera y 6, relación de especies del entorno de esta cavidad principal.

Se ha encontrado un único cnidario, subterráneo facultativo, del mismo modo que en un charco de la cavidad principal, en OG-10 Gours de las Hojas. En el *entorno* se obtuvo del Arroyo San Miguel, en abril de 2003, el cual está pendiente de identificación.

Tabla 5.3.2.2.a. Listado faunístico de las especies acuáticas aisladas e identificadas de las muestras del *entorno* de la cavidad principal. Clasificación general basada en la publicación de Fauna Ibérica (<http://www.fauna-iberica.mncn.csic.es/proyecto/index.php>).

[*] especie en común con la cavidad principal		Rojo: Taxón subterráneo estigobio / troglobio Azul: Taxón estigófilo / troglófilo Negro: Taxón estigoxeno / troglaxeno o desconocido
Cnidaria		
Hydrozoa		
Hydroida		
Indet.		
Platyhelminthes	Turbellaria	
	Turbellaria	
	Seriata	
	Planariidae	
	Indet.	
Nematoda		
	Indet.	

Mollusca

Gastropoda

Prosobranchia Neotaenioglossa

Hydrobiidae

Belgrandiella cantabrica Rolán, 1993

Belgrandiella ovetensis Rolán, 1993

* *"Paladilhiosis" septentrionalis* Rolán y Ramos, 1995

Potamopyrgus antipodarum (Smith, 1889)

Lymnaeidae

Lymnaea peregra (O.F. Müller, 1774)

Lymnaea truncatula (O.F. Müller, 1774)

Moitessieriidae

Spiralix (Burgosia) burgensis Boeters, 2003

Pulmonata Basommatophora

Ancylidae

* *Ancylus fluviatilis* (O.F. Müller, 1774)

Planorbidae

Gyraulus sp.

Ellobiidae

Aron sp.

Carychium sp.

Zospeum sp.

Bivalvia

Veneroida

Sphaeriidae

* *Pisidium casertanum* (Poli, 1791)

* *Pisidium personatum* (O.F. Müller, 1774)

Pisidium sp.

Annelida

Oligochaeta

Lumbriculida

Lumbriculidae

Eiseniella tetraedra (Savigny, 1826)

* *Stylodrilus heringianus* Claparède, 1862

Lumbriculidae indet.

Tubificida

Enchytraeidae

Achaeta sp.

Aulodrilus pluriseta Piguet, 1906

Buchholzia fallax Michaelsen, 1887

Buchholzia sp.

Cernosvitoviella cf. *aggtelekiensis* Dózsa-Farkas 1970

Cernosvitoviella atrata (Bretscher, 1903)

* *Cernosvitoviella* cf. *goodhui* Healy, 1975

Cernosvitoviella palustris Healy, 1979

Cernosvitoviella sp.

Enchytraeus sp.

Enchytraeus gr. *buchholzi* / *christenseni*

Fridericia sp.

Marionina sp.

* *Marionina argentea* (Michaelsen, 1889)

Enchytraeidae indet.

Naididae

Nais alpina Sperber, 1948

Nais bretscheri Michaelsen, 1899

* *Nais communis* / *variabilis*

Nais pardalis Piguët, 1906

Nais pseudobtusa Piguët, 1906

Chaetogaster langi Bretscher, 1896

* *Pristina (Pristinella) jenkinsae* (Stephenson, 1931)

Tubificidae

* *Limnodrilus hoffmesiteri* Claparède 1862

Phallodrilinae n. gen. n. sp. 2 Martínez-Ansemil, sin publicar

Rhyacodrilus falciformis Bretscher, 1901

Rhyacodrilinae con sedas capilares

Tubifex tubifex (O.F. Müller, 1774)

Phallodrilinae indet.

Tubificinae con sedas capilares

Tubificinae sin sedas capilares

Polichaeta

Aeolosomatida

Aeolosomatidae

Indet.

Hirudinea

Arhynchobdellida

Erpobdellidae

Indet.

Rhynchobdellida

Glossiphoniidae

Glossiphonia cf. *paludosa* (Carena, 1824)

Arthropoda

Arachnida

Acari Prostigmata

Limnohalacaridae

Indet.

Aturidae

Axonopsis (Brachypodopsis) guadarramensis Valdecasas, 1981

Axonopsis (Paraxonopsis) vietzi Motas y Tanasachi, 1947

Axonopsis sp.

Frontipodopsis sp.

Kongsbergia sp.

cf. *Aturus* n. sp. 1 Valdecasas, sin publicar

Hydrachnellae

Neoacarus hibernicus Halbert, 1944

Hydryphantidae

Protzia sp.

Torrenticolidae

Torrenticola sp.

Superclase Crustacea

* **Branchiopoda Cladocera**

* Indet.

Ostracoda

Podocopa

Candonidae

* *Candona candida* (OF Müller, 1776)

* *Candona neglecta* G.O. Sars, 1887

Cryptocandona "vavrai" Kaufmann, 1900

Cyclocypris cf. *ovum* (Jurine, 1820)

Cypria sp.

* *Pseudocandona albicans* (Brady, 1864)

* Candoninae? gen. sp.1 Marmonier, sin publicar

* *Pseudocandona* n. sp.2 Marmonier, sin publicar

Candoninae? gen. sp.3 Marmonier, sin publicar

Candoninae? gen. sp.4 Marmonier, sin publicar

* Candoninae? gen. sp.5 Marmonier, sin publicar

Candoninae? gen. sp.6 Marmonier, sin publicar

Cyprididae

Herpetocypris sp.

Heterocypris incongruens (Ramdohr, 1808)

* *Potamocypris* cf. *fulva* (Brady, 1868)

Potamocypris cf. *zschokkei* (Kaufmann, 1900)

Potamocypris cf. *variegata* (Brady y Norman, 1889)

Prionocypris cf. *zenkeri* (Chyzer y Toth, 1858)

Cypridopsidae

Cypridopsis sp.

Ilyocyprididae

Ilyocypris sp.

Limnocytheridae

Limnocythere cf. *inopinata* (Baird, 1843)

Copepoda

Cyclopoida

Cyclopidae

Acanthocyclops cf. *venustus venustus* (Norman y Scott 1906)

* *Acanthocyclops robustus* (GO Sars, 1863)

* *Diacyclops bisetosus* (Rehberg, 1880)

Diacyclops grupo *languidoides* n. sp. 2 Stoch, sin publicar

Diacyclops grupo *languidoides* n. sp. 3 Stoch, sin publicar

* *Diacyclops languidus* (GO Sars, 1863)

Diacyclops lubbocki (Brady, 1869)

Eucyclops cf. *macruioides* (Lilljeborg, 1901)

* *Eucyclops serrulatus* (Fisher, 1851)

Eucyclops speratus (Lilljeborg, 1901)

Macrocyclops albidus (Jurine, 1820)

* *Megacyclops viridis viridis* (Jurine, 1820)

Paracyclops imminutus (Kiefer, 1929)

Speocyclops sebastianus Kiefer, 1937

Speocyclops spelaesus Kiefer, 1937

* *Tropocyclops prasinus* (Fischer, 1860)

Harpacticoida

Canthocamptidae

* *Attheyella* (*Attheyella*) *crassa* (Sars, 1863)

* *Bryocamptus* (*Bryocamptus*) *minutus* (Claus, 1863)

* *Bryocamptus* (*Limocamptus*) *echinatus* (Mrazek, 1893)

Bryocamptus (Rheocamptus) pygmaeus (Sars, 1863)
Bryocamptus (Rheocamptus) pyrenaicus (Chappuis, 1923)
Bryocamptus (Rheocamptus) zschokkei (Schmeil. 1893)
Canthocamptus staphylinus (Jurine, 1820)
Epactophanes richardi Mrázek, 1893
Maraenobiotus vej dovskyi truncatus (Gurney, 1932)
 * *Paracamptus schmeili* (Mrazek 1893)
Paracamptus sp.1 Stoch, sin publicar
Parastenocaridae
 * *Parastenocaris* sp.

Malacostraca

Bathynellacea

Paraiberobathynellidae
Iberobathynella cornejoensis Camacho, 2005
Bathynellidae
Vej dovskybathynella edelweiss Camacho, 2007
Vej dovskybathynella n. sp.2 Camacho, sin publicar
 * *n. gen. n. sp.1* Camacho, sin publicar

Amphipoda

Gammaridae
Echinogammarus sp.
Niphargidae
Haploginglymus sp.

Isopoda Asellota

Asellidae
 * *Proasellus cf. ortizi* Henry y Magniez, 1992
Stenasellidae
 * *Stenasellus virei buchneri* (Stammer, 1936)

Tardigrada

Eutardigrada

Parachela

Hypsibiidae
Hypsibius convergens (Urbanowicz, 1925)
Hypsibius dujardini (Doyère, 1840)
Hypsibius sp.
Isohypsibius marcellinoi Binda y Pilato, 1971
Isohypsibius sp.
Pseudobiotus megalonyx (Thulin, 1928)
Macrobiotidae
Dactylobiotus dispar (Murray, 1907)
Dactylobiotus parthenogeneticus Bertolani, 1981
Macrobiotus gr. richtersi

Apochela

Milnesiidae
Milnesium sp.

Además del molusco hidróbido “*Paladilhiosis*” *septentrionalis* que aparece en la Cueva, en el entorno se ha encontrado otro gasterópodo estigobio: *Spiralix (Burgosia) burgensis* Boeters,

2003, descrito por Boeters a partir de unos especímenes de la región septentrional de la Península Ibérica.

“*Paladilhiopsis*” *septentrionalis* ha aparecido en la Sima Jaime, punto 3 del río Trema y en el Arroyo de la Hoz, además del Sector Resurgencia de la cavidad principal -La Torcona-.

El género de moluscos *Spiralix* Boeters, 1972 se localiza en Europa Occidental, en Francia y España. Las especies del género se han encontrado en hábitat de surgencia, medio hiporréico y en cueva (Bole y Velkovrh, 1986; Boeters, 2003). En concreto, *Spiralix (Burgosia) burgensis* es un molusco endémico de esta región septentrional de la Península Ibérica, una de las cinco especies y subespecies descritas de este género por el Dr. Hans D. Boeters en 2003. En el presente trabajo sobre Ojo Guareña sólo se ha aislado de aguas del medio hiporréico, del punto 1 del río Trueba y el punto 3 del Trema.

Entre la fauna separada hay un oligoqueto estigobio Phallodrilinae y tres estigófilos de distintas familias: Enchytraeidae, Naididae y Tubificidae. El oligoqueto estigobio, Phallodrilinae n. sp. 2, sólo se ha aislado de una muestra de medio hiporréico del Arroyo de la Hoz, mientras que en la cavidad principal se han obtenido más ejemplares de la otra especie nueva de esta subfamilia, Phallodrilinae n. sp. 1, en cuatro emplazamientos: OG-09 gran Gour de la Sala Edelweiss en la Galería Principal y en tres de los cuatro lugares del Gour de las Hojas. Aunque con cierto riesgo dada la escasez de fauna, a la vista de los datos recogidos se puede señalar una preferencia de este oligoqueto por el ambiente cavernícola del epikarst.

Stylodrilus heringianus tiene una incidencia escasa, en el *entorno* y en la Cueva, habiendo aparecido en 1 muestra en cada caso: del medio hiporréico, en la posición 2 del río Trema y en agua del charco de Italianos en Palomera, OG-12.

El caso de *Marionina argentea* es distinto, pues tiene una gran incidencia en distintos lugares, con una dominancia habitual del grupo de los Enchytraeidae (Giani et al. 2001): ha aparecido en 16 muestras del *entorno*, en todos los medios -cuevas, surgencias, hiporréico, freático superficial y freático profundo-. En la cueva principal se ha aislado de nueve muestras procedentes de siete localizaciones del Dédalo Oeste y del Sector Resurgencia.

El número de especies de oligoquetos subterráneos hallados en el *entorno* es la mitad que en la Cavidad, tanto de estigobios como de estigófilos.

En cuanto a los tardígrados se han determinado el doble de especies que en Palomera. Sin embargo, de modo similar a la cavidad principal han aparecido de forma puntual en una sola muestra, excepto *Dactylobiotus parthenogeneticus* Bertolani, 1981, que se ha encontrado en seis ocasiones y ambientes distintos: en una surgencia y en medio hiporréico y freático superficial. Las ocho especies son epigeas, a pesar de que algunos de los géneros encontrados poseen especies estigobias: *Macrobiotus* Schultze, 1834 tiene cuatro especies en Dinamarca, Suecia,

Noruega y California, *Dactylobiotus* Schuster, Nelson, Grigarick & Christenberry, 1980 tiene una especie registrada en el norte de Italia e *Isohypsibius* Thulin, 1928 ocho especies de Sicilia, Japón, Francia, California, Centroamérica, Mar Negro, Mar del Norte y Báltico (Renaud-Mornant, 1986).

Comenzando con la revisión de los artrópodos, en la Caverna no se han encontrado ácaros estigobios, aparte de los limnolacáridos. Pero en el *entorno*, además de Limnolacaridae se han encontrado dos hidránidos Aturidae estigobios: *Axonopsis* (*Paraxonopsis*) *vietsi* Motas & Tanasachi, 1947 y *Kongsbergia* sp. En general, los hidránidos estigobios tienen una gran preferencia por el medio hiporréico y las aguas freáticas superficiales circundantes, y en concreto estos dos géneros, aunque también se pueden encontrar en medios alejados a éste: freático profundo o estricto (pozos alejados de los cursos de los ríos) y surgencias.

Axonopsis Piersig, 1893 es un género que ya contaba con 30 especies estigobias descritas en el mundo a mediados de los años 80 y pertenecientes a siete subgéneros. La distribución del subgénero *Paraxonopsis* Motas & Tanasachi, 1947 es muy dispersa, habiéndose descrito especies que habitan las regiones perimediterránea, centroeuropa, costa occidental de Estados Unidos, Japón e India. En concreto, la especie *Axonopsis* (*P.*) *vietsi* se ha encontrado en la provincia de Pirineos-Aquitania, Córcega, sur de los Balcanes, en los Cárpatos y en el curso medio y bajo del Danubio (Schwoerbel, 1986). También hay numerosos hidránidos no estigobios ligados a los cursos de agua, aquellos que son bentónicos, de los que han aparecido algunas especies en los ríos de la superficie del Monumento Natural.

El género *Kongsbergia* Thor, 1899 consta de 55 especies en el mundo, recogidas en 4 subgéneros (Cramer, 2000). En Europa hay una sola especie del subgénero *Parakongsbergia* Viets, 1949 y el resto pertenecientes a *Kongsbergia* (*Kongsbergia*), presentes en el área perimediterránea y Centroeuropa (Schwoerbel, 1986).

Para completar la revisión de la fauna del *entorno*, hay que hablar del gran grupo de artrópodos que predomina en el medio subterráneo sobre el resto de grupos faunísticos: los crustáceos. Hay 27 especies de crustáceos subterráneos *sensu lato* identificados en el *entorno*, la mayoría ostrácodos y copépodos.

Los ostrácodos constituyen el grupo con mayor número de especies subterráneas en el *entorno*, quince especies que suman entre cinco estigobios y diez estigófilos; sin embargo, el mayor número de estigobios lo ostenta Copepoda, con siete especies y subespecies.

Los cinco ostrácodos estigobios pertenecen a dos nuevos géneros pendientes de descripción por parte de Pierre Marmonier, de ellas sólo una ha aparecido también en la caverna principal. Las nuevas especies denominadas provisionalmente como *Pseudocandona* n. sp.2 y gen. sp.5 se han localizado sólo en muestras de cueva, en tres y en dos cavernas distintas respectivamente.

Puede tratarse de dos especies que habiten preferentemente las partes superiores del karst. Al contrario, las otras tres especies -*Pseudocandona* n. sp.3, n. sp.4 y n. sp.6- no se han aislado de las cuevas, habiéndose obtenido de una única muestra y diferente en los tres casos, del río Trema y del Arroyo de la Hoz. Estos cursos de agua transcurren al este-sureste de la cavidad principal, por donde resurge gran parte del agua subterránea del Complejo. Además de los cinco ostrácodos estigobios, también se han identificado otros diez subterráneos facultativos o estigófilos, dos del género *Candona* Baird, 1845, un *Cryptocandona* Kaufmann, 1900, un *Cyclocypris* Brady & Norman, 1889, un *Cypria* Zenker, 1854, un *Pseudocandona*, tres *Potamocypris* Brady, 1870 y un *Ilyocypris* Brady & Norman, 1889.

Hay ocho especies de copépodos subterráneos inventariados del *entorno*. Sólo se repiten dos subterráneos de los aparecidos en la cavidad principal, el único estigófilo *Diacyclops languidus*, en una muestra de hiporréico del punto 2 del Trema y el único parastenocárido *Parastenocaris* sp., en una muestra de hiporréico del punto 1 del Trueba. Los otros seis copépodos son estigobios y han aparecido sólo en el *entorno*.

Acanthocyclops cf. *venustus venustus* (Norman y Scott 1906) se localiza en la parte occidental y central de Europa, también parece haberse encontrado en Norteamérica. Ocupa hábitat diversos: surgencias kársticas, el freático profundo y la zona de percolación de las cuevas. Por tanto, es una especie de amplia distribución y no presenta rasgos estenóticos. En el complejo kárstico de Ojo Guareña se ha encontrado en el medio epifreático (agua subterránea próxima a los cursos de ríos), en las localizaciones 1 del Trema y 2 del Nela.

Se ha determinado la presencia de dos especies nuevas para la ciencia del grupo de *Diacyclops languidoides* (Lilljeborg, 1901), cuyo género está extendido por Europa y Asia. Las especies tienen preferencia por distintos ambientes: unas por el freático profundo, otras por aguas de percolación o por el medio hiporréico. Una de las dos halladas en el complejo burgalés, la denominada provisionalmente *Diacyclops* gr. *languidoides* n. sp. 3, sólo se colectó en una muestra de hiporréico en el punto 1 del río Nela. Sin embargo la otra especie, *Diacyclops* gr. *languidoides* n. sp. 2, se aisló de aguas de Fuente Villa, además de dos muestras de hiporréico (Ulemas y Trueba-1), de ambos pozos muestreados y tres muestras de epifreático tomadas junto a otros dos ríos (punto 2 del Nela y puntos 1 y 3 del Trema). Esta especie de *Diacyclops* está muy extendida por el complejo kárstico, pero no ha aparecido en ninguna muestra de cueva, con lo que se aprecia su marcada preferencia por las zonas saturadas, tanto profundas (pozos) como someras (junto a los cursos de agua y en surgencias).

El género *Speocyclops* está representado en el *entorno* por dos especies, *S. sebastianus* Kiefer, 1937 y *S. spelaeus* Kiefer, 1937, endémicas del norte de la Península Ibérica y ambas descritas como especies cavernícolas estrictas: *S. spelaeus* se confirma por nuestros datos que tiene una clara preferencia por el agua de percolación, ya que de todo el conjunto de muestras de

este estudio ha aparecido en cinco de ellas, todas colectadas en cuevas del *entorno*. Pero la primera de las dos especies, *S. sebastianus* sólo se aisló de agua del medio hiporréico del río Trema, en el punto 1.

Por último entre los copépodos subterráneos, el harpacticoide *Bryocamptus* (*R.*) *pyrenaicus* (Chappuis, 1923) está descrito sobre un material tipo procedente de la vertiente septentrional de los Pirineos occidentales. Esta especie se ha encontrado en las 11 muestras tomadas en cuatro cuevas: Cueva Redonda, Cueva Racino, Kaite 2 y Cueva García, que se encuentran distantes entre sí, al oeste, al norte y al este de la cavidad central, pero que tienen en común que están en cabeceras de recarga, en una franja muy somera del epikarst, una especie típica habitante del agua de percolación, según señala Rouch en el manual de referencia sobre la fauna estigobia (Rouch, 1986).

En los alrededores de la cavidad principal se han obtenido tres especies de batineláceos. Dos de ellos de la familia Bathynellidae, que se encontraron en Palomera: *Vejdovskybathynella edelweiss*, aparecida en tres cavidades (Sima Jaime, Cueva Racino y en el Cubío) y el nuevo género n. gen. n. sp. hallada en la cueva del Prado Vargas, además de La Torcona y en tres lugares del *recorrido habitual* de Palomera (OG-14, OG-09 y OG-16); estas dos especies habitan las partes más someras del epikarst, como ocurre con el copépodo harpacticoide *Bryocamptus* (*R.*) *pyrenaicus*. Esta fauna de pequeño tamaño, con una capacidad de dispersión limitada y que habita las partes más superficiales del karst, debe situarse en la base de la cadena alimenticia del mundo estigobio. Deben alimentarse de fauna de menor tamaño, restos vegetales y detritos provenientes del medio epigeo y cohabitantes del epikarst. Y según se ha visto, en ocasiones se concentran poblaciones con una densidad elevada, lo que debe ser determinante en la regulación de los ciclos alimenticios y de vida de otros grupos faunísticos que subyacen hasta el nivel freático.

Además de estas dos especies de batineláceos, la tercera hallada es otra especie de nueva descripción de la familia Parabathynellidae, *Iberobathynella cornejoensis* Camacho, 2005. Se ha recogido tanto en el medio epikárstico como en el medio hiporréico, como se observa habitualmente en la familia Parabathynellidae (Camacho, 2003b). Los lugares del *entorno* en los cuales se colectó este sincárido son: Cueva la Mina, Cueva Redonda e hiporréico del río Trema, puntos 1 y 3.

En el *entorno* se ha encontrado un anfípodo estigobio del grupo Niphargidae, perteneciente al género *Haploginglymus*, endémico de la Península Ibérica, que cuenta con 4 especies descritas. Este género se encuentra en aguas subterráneas de distinta naturaleza: cuevas, medio freático profundo (pozos) y freático superficial (medio hiporréico). Ha aparecido en tres localizaciones del *entorno*, en el punto 2 del río Nela, en el punto 3 del río Trema y en el pozo frente al Torcón.

Esto apunta a una preferencia de este *Haploginglymus* por el agua freática, al menos en esta área, ya que no se ha encontrado en ninguna de las cuevas estudiadas, ni en surgencias, que habitualmente descargan un volumen importante de agua procedente del epikarst.

Por último, las dos especies de isópodos capturados en Palomera también se han encontrado en muestras del *entorno*. El estigófilo *Proasellus* cf. *ortizi* vive en dos surgencias, surgencia de la Mea y Fuente de los Avellanos, y *Stenasellus virei buchneri*, además de la fuente Salce, también se encontró en: cueva García, Ermita de S. Bernabé y cueva de las Llanas. El isópodo estenasélido tiende más a habitar el ambiente cavernícola, la parte no saturada del karst, mientras que el asélido *P.* cf. *ortizi* parece tener afinidad por la franja epifreática, surgencias y niveles inferiores de la cavidad principal con inundaciones periódicas.

Entre las especies aisladas de las localizaciones del *entorno*, 17 se consideran endemismos. Entre ellas hay 12 especies que han aparecido de modo exclusivo aquí, sin haberse detectado en Palomera: *Spiralix (Burgosia) burgensis*, Phallodrilinae n.sp.2, Candoninae gen.sp.3, Candoninae gen.sp.4, Candoninae gen.sp.6, *Diacyclops languidoides* n.sp.2, *Diacyclops languidoides* n.sp.3, *Speocyclops sebastianus* (endemismo del N de la PI), *Speocyclops spelaeus* (endemismo del N de la PI), *Iberobathynella cornejoensis*, *Vejdovskybathynella* n.sp.2 y *Haploginglymus* sp. Los otros 5 endemismos son compartidos con la cavidad principal: “*Paladilhiopsis*” *septentrionalis*, *Pseudocandona* n.sp.2, Candoninae gen.sp.5, *Vejdovskybathynella edelweiss* y Bathynellidae n.gen.1 n.sp.1.

Con lo cual, de momento se considera que existen 26 endemismos en el Monumento Natural de Ojo Guareña: 9 que han aparecido exclusivamente en Palomera, 12 que se han obtenido tan sólo en el *entorno* y 5 que han presentado en común ambos sectores.

5.3.3. Resolución taxonómica y análisis faunístico: niveles de análisis

En el estudio taxonómico de la fauna colectada se ha procurado una resolución en el nivel de identificación tan fino como ha sido posible. Sin embargo, dada la dificultad de algunos grupos y la ausencia de taxónomos que pudieran colaborar en su identificación, ha resultado una matriz faunística muy asimétrica, con grupos determinados a nivel específico o genérico y otros que no hemos podido pasar de categorías superiores. Hemos querido, no obstante, aprovechar este desequilibrio estructurando para llevar a cabo los análisis en dos etapas. En la primera se ha efectuado un protocolo de análisis que podríamos denominar de ‘grano grueso’, con los ejemplares asignados a grandes categorías, de clase o niveles superiores. Una segunda etapa ha supuesto la repetición de este protocolo de análisis al nivel taxonómico más fino alcanzado. La razón de operar de esta forma ha perseguido averiguar si la pérdida de información afecta a la interpretación de los patrones que se presentan. Tras algunos estudios de ecología fluvial, se sabe que el empleo de

niveles de identificación de género/especie no siempre implica mayor capacidad resolutive en el uso de organismos acuáticos como indicadores de las condiciones del hábitat; en estos casos el uso del nivel de familia, o superior, produce una respuesta equivalente (Bailey *et al.*, 2001; Chessman *et al.*, 2007).

5.3.4. Análisis faunístico: nivel general. Estadística multivariante. Distribución general de las poblaciones

La fauna se distribuye de forma desigual en el recorrido estudiado de la Cueva y en los diferentes puntos del entorno de la misma, tanto espacial como temporalmente.

Determinadas muestras destacan por la escasez general de fauna, como las correspondientes a las captaciones del goteo en OG-08: en ocasiones no se detectó presencia de grupo faunístico alguno (agosto, septiembre y noviembre de 2002, agosto de 2003 y enero de 2004). Lo mismo ocurrió en el caso de las trampas con cebo, con las cuales se recogió poca fauna. En algunas localizaciones, como el caso de OG-19, sólo se han obtenido individuos de una especie: en este caso un molusco gasterópodo (*Ancylus fluviatilis* O.F. Müller, 1774). En otros lugares (OG-07 y OG-10, en junio de 2002) se aislaron hasta quince especies diferentes pertenecientes a cinco y cuatro grupos faunísticos respectivamente (apéndice 3).

También se han aislado escasos grupos faunísticos en el primer punto numerado de la Cueva, OG-01, situado en la Sala del Museo de Cera. Posee unos *gours* que fueron muestreados en tres ocasiones y sólo presentó fauna acuática perteneciente a dos grupos: oligoquetos y batineláceos. Sin embargo en las muestras de este punto destaca la abundancia de batineláceos, que representan más del 90% de los ejemplares aislados, superándose el centenar de individuos en una de las muestras. En el extremo opuesto de abundancia de taxones aislados se encuentran OG-14, con ocho grupos faunísticos en la muestra de marzo de 2003, OG-15, con nueve grupos faunísticos detectados en la muestra de enero de 2004 y muestras con quince especies (OG-07 y OG-10 en junio de 2002).

Se analiza progresivamente la distribución de las poblaciones de invertebrados en los tres niveles de aproximación en el estudio del Karst: el *recorrido habitual*, los puntos de muestreo ocasionales de la cavidad principal y las localizaciones estudiadas del entorno de Palomera. Los grupos faunísticos considerados son los grupos de invertebrados acuáticos que aparecen en los apéndices 3 y 5, grupos faunísticos de Palomera y del *entorno* respectivamente, considerados los 18 primeros taxones, a excepción de la categoría “otros Acari”, cuyos estadios adultos son terrestres, al igual que las larvas de insecto, cuyos imagos son también terrestres.

Con la intención de determinar los patrones de distribución de la fauna, si los hubiere, se han utilizado las mismas herramientas metodológicas aplicadas en el análisis de los datos físico-químicos:

- a) Agrupamiento jerárquico (*cluster*). Los criterios diagnósticos para interpretar los agrupamientos han sido la estacionalidad, las relaciones espaciales y la naturaleza del hábitat.
- b) Análisis de ordenación, ya sea en componentes principales (PCA) u ordenamiento multidimensional no paramétrico (NMDS). Se ha intentado profundizar en las variables responsables de conjunto faunístico y su variación temporal y espacial, más allá de lo que pueda haber quedado de manifiesto en el análisis anterior.
- c) Finalmente, el test de similitud por pares (ANOSIM), permite estimar mediante permutaciones la relación entre diferentes grupos de muestras tomados por pares, en función de las características ambientales, ya sea la naturaleza del fondo, el tipo de recarga del volumen de agua, el gradiente de temporalidad, la permanencia del agua, la localización en el complejo kárstico o la técnica empleada en la obtención de la muestra.

5.3.4.1. Análisis estadístico de la distribución faunística en el *recorrido habitual*

Para obtener el mejor conocimiento posible de la fauna de Ojo Guareña se ha abordado tomando muestras en repetidas ocasiones de lo que denominamos *recorrido habitual*. Las muestras destinadas al análisis faunístico han sido más numerosas que las de análisis físico-químico. La razón de ello es lo escasamente predecible de la ocurrencia de organismos en los distintos cuerpos de agua presentes en la Cueva. Si el medio lo permitía, se colectaban muestras de fauna utilizando más de un método de muestreo en la misma localización y fecha. Asimismo, en ciertas ocasiones el limitado volumen de agua nos hacía descartar el análisis de físico-química del agua, pero sí se podía remover con la manga de mano y tomar muestra de fauna. El análisis comprende 120 muestras colectadas entre febrero de 2002 y septiembre de 2004, de los puntos OG-01 a OG-16, de modo que se abarcan dos ciclos anuales completos.

En una primera aproximación, numerosas especies aparecen de modo ocasional. Hay que tener en cuenta que los muestreos han sido de tipo cualitativo, ya que el volumen muestreado ha variado según el volumen de agua presente, que en algunos casos llega a filtrarse o evaporarse por completo, la naturaleza del sustrato, el tamaño del hábitat y las oscilaciones del nivel del agua. Por estas razones no se ha intentado cuantificar el muestreo. Los datos empleados en el análisis son de presencia/ausencia de grupos taxonómicos, tal y como se recogen en el apéndice 3. Las características del hábitat: localización, tipo de sustrato y temporalidad, se encuentran en la tabla 4.1.1.1.a y la estación del año a que corresponde cada muestreo, en la tabla 5.1.2.b.

5.3.4.1.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

Se ha realizado el agrupamiento de las 120 muestras consideradas en este análisis a partir de una matriz de semejanza. El objetivo es poner de manifiesto la afinidad entre ellas y encontrar un factor, o grupo de factores que puedan dar razón de los agrupamientos.

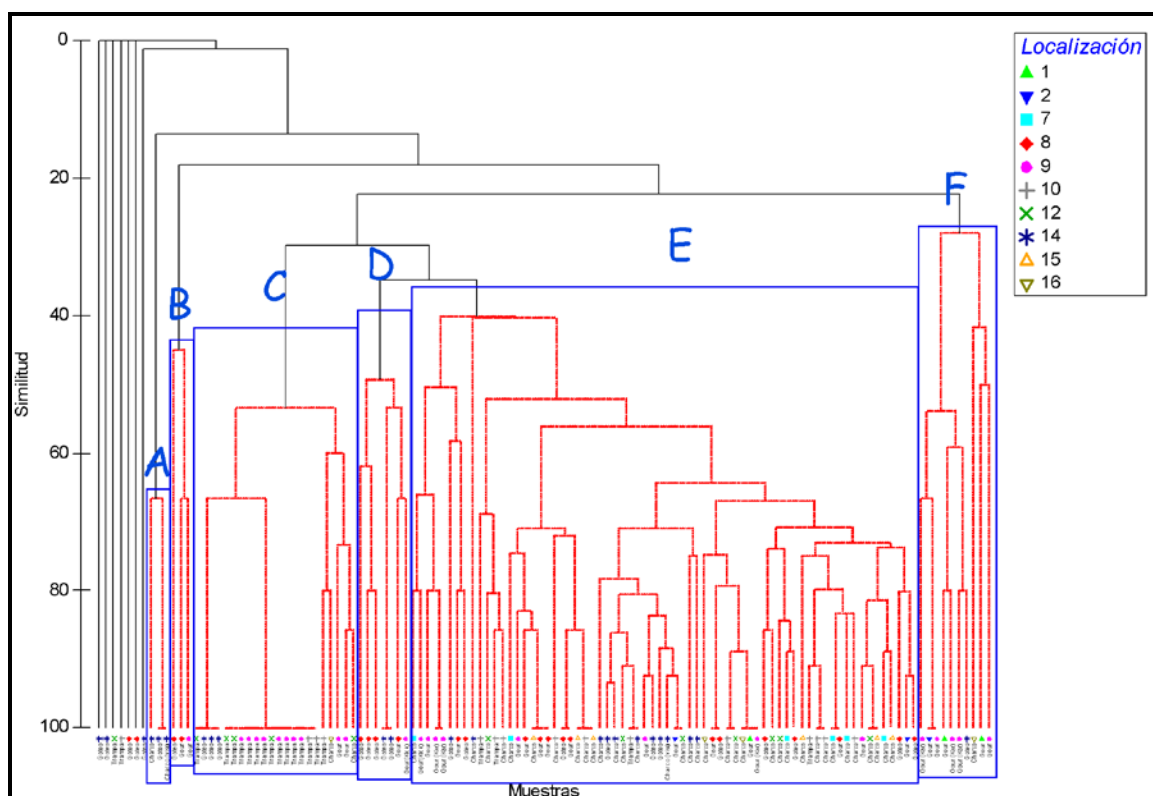


Figura 5.3.4.1.1.a. Agrupamiento jerárquico de las muestras faunísticas del *recorrido habitual* de Palomera recogidas entre febrero de 2002 y abril de 2004.

En la figura 5.3.4.1.1.a se han marcado los seis grupos obtenidos (A-F), que definen estaciones de muestreo o muestras que no presentan diferencias significativas entre ellas. Los grupos se caracterizan por lo siguiente:

- 1- El grupo A lo constituyen tres muestras de OG-14 colectadas durante las estaciones de verano y otoño del año 2002, obtenidas con tres técnicas de muestreo diferentes: removido con manga, caza de *visu* y recogida de goteo. En ellas se obtuvieron casi exclusivamente isópodos. Sólo en una de las muestras, el removido con manga en el 22 de noviembre, se halló además un oligoqueto.
- 2- En el grupo B se encuentran también tres muestras, en este caso de dos localizaciones relativamente distantes, OG-08 y OG-09, y en tres años diferentes, agosto de 2002, junio de 2003 y abril de 2004. Este grupo se caracteriza por la presencia de Limnohalacáridos y una gran pobreza de taxones adicionales: en una de las muestras sólo están registrados los limnohalacáridos y en los otros dos se alternan ostrácodos y oligoquetos.
- 3- El grupo C está formado por veintidós muestras, de las cuales quince se han obtenido mediante el uso de trampas con cebo, todas de las tres localizaciones en las cuales se ha

utilizado este método: OG-09, OG-10 y OG-12. Durante los tres años de estudio, en total se han recogido veintiuna muestras de trampa, con lo que la mayoría (71%) se agrupan en este conjunto C. Las otras siete muestras son: tres captaciones de goteo en OG-14, dos de removido de *gour* en OG-09 con una manga de mano y otras dos de removido en charco, una en OG-12 y otra en OG-16. El conjunto de muestras son peculiares por la escasez de grupos taxonómicos, aunque todas ellas tienen en común la presencia de copépodos. En varias trampas, especialmente de OG-09 y OG-12, se han encontrado únicamente copépodos, sin presentar otra fauna asociada.

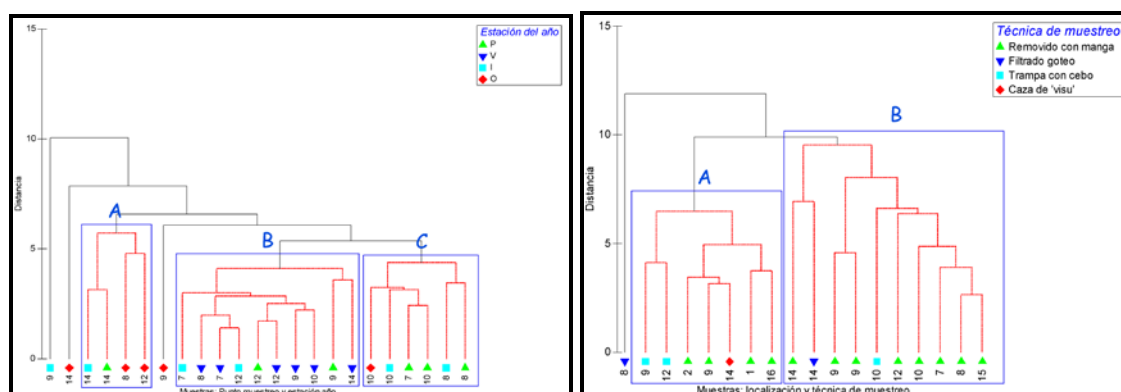
- 4- El grupo D reúne siete muestras, cinco de filtración de goteos (OG-08 y OG-14) y otras dos obtenidas mediante removido en OG-08 y OG-09, recogidas a lo largo de las cuatro estaciones del año, en 2002 y 2003. Se trata de un grupo heterogéneo en el que se han aislado pocos grupos faunísticos, aunque en todas ellas aparecen copépodos harpacticoides.
- 5- El grupo E representa el mayor conjunto de muestras reunidas en el análisis. Son 78 muestras obtenidas por las diferentes técnicas empleadas en este Sector de la Cavidad. Entre ellas hay 58 tomadas mediante 'removido con manga' de los diez puntos de muestreo de esta unidad (28 en charco y 20 en *gour*), 11 de filtración de goteo, 4 de trampas, 3 obtenidas mediante *karaman* en el gran *gour* de OG-09, 1 de caza de *visu* en OG-14 y 1 de *kicking* en OG-09. Todas ellas confluyen en variedad y abundancia de grupos taxonómicos representados, como los siete grupos taxonómicos que se aislaron de una muestra de OG-09 colectada el 1 de junio de 2002, o los nueve obtenidos en las muestras de OG-14 de 8 de marzo de 2003 y OG-15 de 31 de enero de 2004.
- 6- Finalmente, el grupo F consta de diez muestras, cinco de ellas de OG-09 y las otras cinco son de otras cuatro localizaciones en diferentes épocas del año, que tienen en común la presencia de pocos grupos taxonómicos, pero que sí tienen crustáceos ostrácodos y/o sincáridos.

En el agrupamiento anterior no hay ningún conjunto de muestras que forme un grupo uniforme por temporalidad, localización o naturaleza del hábitat, con lo cual la distribución de la fauna no tiene una explicación sencilla basada en las variables consideradas. Puede estar basado en una combinación de ellas, pequeñas oscilaciones en el conjunto de la composición físico-química del agua, área del karst que recorre el agua de recarga de estas localizaciones de la Cueva, temporalidad u otros factores que no se han tenido en cuenta.

Aunque este método de clasificación no es capaz de producir un patrón claro de distribución de las muestras, hemos intentado resolver la falta de definición del agrupamiento anterior, sumando los grupos faunísticos según dos criterios que se indican a continuación:

- Por un lado se han sumado las muestras que coinciden en localización y estación del año. Se obtiene como resultado el agrupamiento de la figura 5.3.4.1.1.b.
 - En el grupo A coexisten muestras de diferentes sectores de la Caverna (OG-08, OG-12 y OG-14) y de tres estaciones del año diferentes.
 - En el grupo B se concentran las muestras de verano.
 - No obstante, no cabe presumir un patrón temporal pues el grupo C engloba muestras de tres estaciones del año y de tres localizaciones distintas. Sin embargo, estas tres pertenecen al Gours de las Hojas, lo que podría llevar a pensar en un patrón espacial de distribución de la fauna, al menos en este caso particular.

Las muestras de verano y aquellas que se unen en el grupo B destacan por tener una diversidad baja de grupos taxonómicos. En las muestras de verano y de invierno parece comprensible, ya que al haber menos agua de escorrentía en el medio epigeo descende el régimen de percolación del agua, se arrastra menos fauna del epikarst al interior de la Cueva, hay menos aporte alimentario y la fauna muere o depredan los unos sobre los otros, de modo que produce esa reducción en los efectivos de la población.



(b) Localización y época del año.

(c) Localización y técnica de muestreo empleada.

Figuras 5.3.4.1.1.b y c. Agrupamiento jerárquico de las muestras del *recorrido habitual* de Palomera, según los criterios señalados en cada caso.

- En segundo lugar se han sumado las presencias de taxones de las muestras con localización y técnica de muestreo similares. El agrupamiento resultante se plasma en la figura 5.3.4.1.1.c. En ella se aprecian dos grupos, A y B, y las muestras de filtración de goteo de OG-08 a modo de *outlier*, que tiene mayor presencia de anélidos, nematodos, copépodos ciclopoideos y, especialmente, copépodos harpacticoides. En el grupo A donde están las muestras que tienen menor incidencia de todos los grupos faunísticos, entre 5 (trampas en OG-12) y 18 (removido con manga en OG-16), mientras que el grupo B tiene mayores incidencias, entre 23

(método de Karaman en OG-09) y 39 (removido con manga en OG-14). El agrupamiento A se puede entender teniendo en cuenta, por un lado la técnica de muestreo empleada en algunos casos, que es selectiva (uso de trampas y caza de *visu*), por lo que se obtiene menor diversidad de fauna y por la baja diversidad que presentan puntos como OG-01, OG-02 y OG-16.

Los resultados obtenidos no permiten asignar a ningún factor estudiado los agrupamientos. En este sentido, cabe decir que el análisis de agrupamiento tiene una capacidad limitada para poner de manifiesto dependencias ambientales o temporales, en la composición de los conjuntos faunísticos en estudio.

5.3.4.1.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

Utilizando todas las muestras consideradas en este apartado y probando diversos factores en la ordenación, el análisis de ordenación no paramétrica detecta una estructura difusa, con solapamiento entre las diferentes localizaciones de muestreo, figura 5.3.4.1.2.a. Las muestras de una misma localización de la Cavidad están próximas entre sí. Sin embargo, al existir solapamiento entre las localizaciones no segregan lo suficiente para establecer unas diferencias entre los conjuntos. Los grupos más numerosos y definidos están señalados en el gráfico de esta figura: OG-08, OG-09 y OG-14.

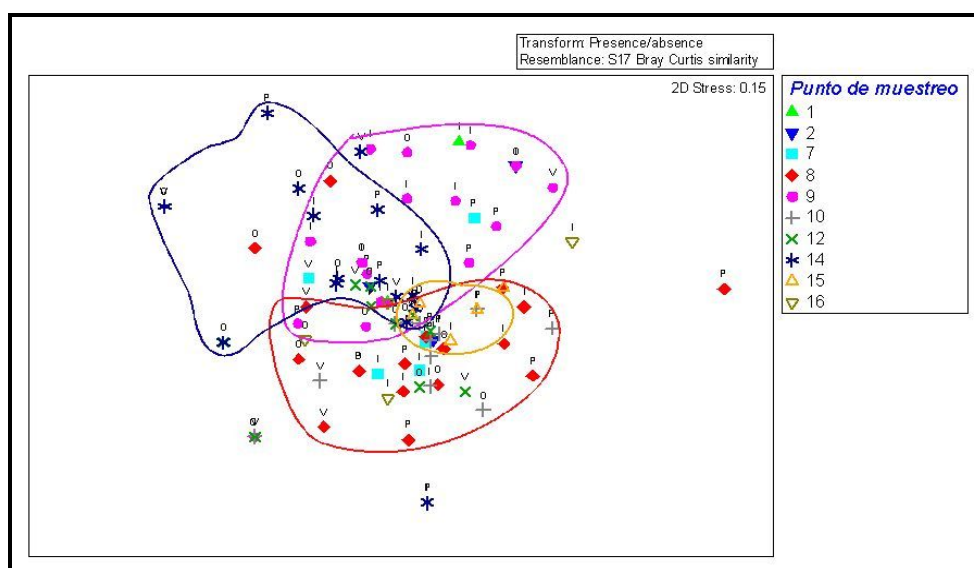


Figura 5.3.4.1.2.a. Análisis de ordenación multidimensional no paramétrica de los datos faunísticos del *recorrido habitual* de Palomera de las muestras recogidas entre febrero de 2002 y abril de 2004.

La representación gráfica en dos dimensiones sufre una deformación moderada, es un ajuste aceptable según la escala sugerida por Rohlf (índice de estrés de 0,15). Así, la representación es bastante fiel a la distribución real dentro del espacio multidimensional considerado en el análisis, 18 dimensiones de las correspondientes variables de los grupos faunísticos acuáticos registrados. Ambos gráficos no resultan concluyentes en cuanto a los factores que pueden afectar a la semejanza entre localidades y muestras.

Hemos repetido el análisis sumando las presencias de los *taxa* en las muestras, realizando algunas combinaciones ‘naturales’ en función de las características ambientales: por localización y época de muestreo, según localización y naturaleza del hábitat y atendiendo a localización y técnica de muestreo. Esta última combinación de factores es la que ha ofrecido una mejor segregación de los elementos resultantes, agrupándose claramente en un extremo de la ordenación (gráfico de la figura 5.2.4.1.2.b) la fauna obtenida mediante la instalación de trampas con cebo y por otro lado las muestras de removido, tanto de charco como de *gour*. Estos métodos que destacan son aquellos mediante los cuales se ha obtenido una menor variedad -trampa- y una mayor variedad de fauna -removido con manga-.

El análisis denota el carácter selectivo de la técnica de muestreo de trampa con cebo, igual que ha ocurrido con el último análisis de agrupamiento. Se observa una separación de las muestras más definida que en los otros análisis. Esencialmente distingue entre las dos técnicas que se han utilizado de un modo más generalizado en los dos hábitat más frecuentes: trampa con cebo y removido con manga, en charco y *gour*. Los resultados de la caza de ‘visu’ no se pueden diferenciar del removido con manga, como ocurre con las muestras de filtrado de goteo, que se separan del resto de los elementos de la gráfica.

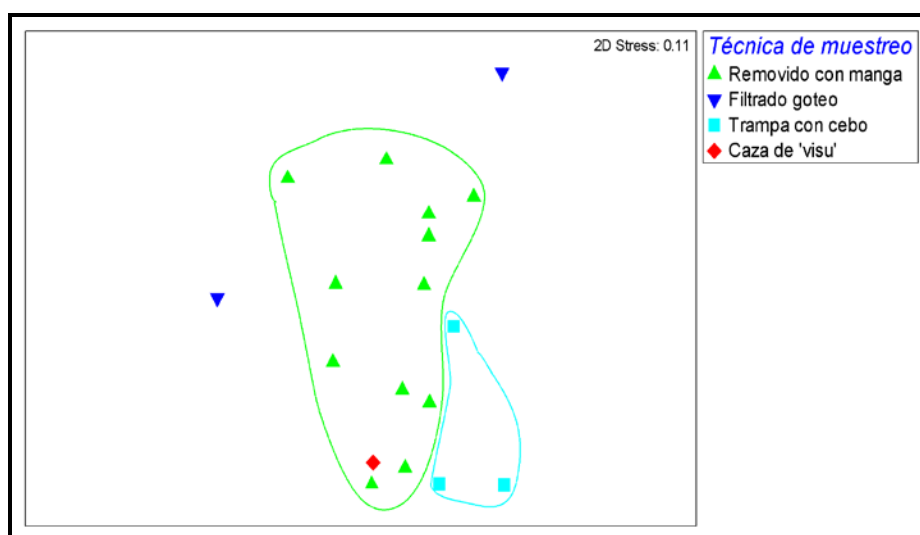


Figura 5.2.4.1.2.b. Ordenación no paramétrica multidimensional. Muestras agrupadas en función de la técnica de muestreo y de la localización del hábitat.

Con este análisis de ordenamiento no se detectan diferencias estacionales o espaciales de composición faunística. Hace una diferenciación de la fauna según el método de muestreo que se utiliza, que en algunos casos es selectivo, como se ha comentado anteriormente: el procedimiento de recogida-filtración de goteo capta principalmente una fauna especializada que habita el epikarst; las trampas con cebo son efectivas con la fauna que tiene mayor capacidad natatoria y con la fauna que se siente atraída por el cebo utilizado; mediante la caza de 'visu' se presenta el sesgo de dirigirse sólo a la fauna de tamaño relativamente grande y sin embargo, por último, mediante el removido con manga se colecta el mayor espectro de fauna.

5.3.4.1.3. Análisis de similitud (ANOSIM)

El análisis de similitud se ha llevado a cabo agrupando las muestras según distintos criterios: por el sector de la Caverna en el que se encuentran, el tiempo de permanencia del agua en el hábitat, la naturaleza del hábitat y la técnica de muestreo empleada y, por último, considerando independientemente las diez localizaciones del *recorrido habitual*. Entre estos criterios, el último factor ofrece la clasificación con la que segregan mejor los grupos. Aunque no hay grandes diferencias en el conjunto de los grupos de muestras ($R=0,31$), éstas tienen una significación estadística elevada, $p=0,001$, por lo que conviene ver las diferencias que hay entre los pares de grupos.

La técnica de removido con manga y el filtrado de goteo son las que presentan mayores diferencias con el resto de las muestras, $R=0,59$ y $p=0,01$. Los demás grupos comparados presentan diferencias con menor significación estadística, $p>0,05$. Por ejemplo, las muestras de filtrado de goteo y caza de *visu*, aunque poseen el mayor coeficiente R , 0,67, presentan un nivel $p=0,10$.

Cuadro 5.3.4.1.3.a. Resultados del análisis de similitud entre las muestras faunísticas del *recorrido habitual* de Palomera, según la técnica de muestreo y la naturaleza del hábitat.

Diferencias entre los grupos de TÉCNICA DE MUESTREO			
R Global: 0.348			
Nivel de significación: 0.8%			
<i>Análisis de pareados</i>			
Pares de grupos	Estadístico R	Nivel de significación	Permutaciones posibles
Removido con manga, Filtrado goteo	0.591	0.01	91
Removido con manga, Trampa con cebo	0.238	0.07	455
Removido con manga, Caza de 'visu'	0.095	0.38	13
Filtrado goteo, Trampa con cebo	0.667	0.10	10
Filtrado goteo, Caza de 'visu'	0.000	0.67	3
Trampa con cebo, Caza de 'visu'	0.333	0.50	4

En el análisis de los grupos según la localización de muestreo, el índice R global es bajo, lo que indica unas diferencias muy escasas entre los distintos lugares considerados de la Cavidad. Pero se puede destacar el índice R que tiene OG-01 con otras localizaciones: R=0,78 con OG-15, R=0,52 con OG-07, R=0,46 con OG-12 y R=0,44 con OG-10, todos para un p menor que 0,05, además de las diferencias entre OG-15 y OG-16, R=0,66 para p=0,05.

Por tanto, se puede concluir el análisis diciendo que el hábitat OG-01 ha sido el más peculiar, en cuanto a los grandes grupos faunísticos que albergaba durante el periodo de estudio. No se han encontrado diferencias significativas entre muestras según la temporalidad en la permanencia del agua, la naturaleza del hábitat o su situación espacial.

5.3.4.2. Análisis estadístico de la distribución faunística en el *recorrido ocasional*

El análisis de agrupamiento de la fauna del *recorrido ocasional* se ha realizado sobre cuarenta y cinco muestras.

Cuadro 5.3.4.2.a. Propiedades ambientales asociadas a los puntos de muestreo del *recorrido ocasional* de la cueva Palomera.

Punto	Número de muestras	Sector de la Cueva	Naturaleza del hábitat	Permanencia del agua
OG-18	3	Central	<i>Gour</i>	3
OG-19	3	Central	Charco	4
OG-20	1	Central	<i>Gour</i>	3
OG-21	1	Central	<i>Gour</i>	4
Surg. Torcona	3	Torcona	Lago	5
OG-39	1	Torcona	Marmita	5
OG-40	1	Torcona	Marmita	5
OG-41	1	Torcona	Marmita	5
OG-42	1	Torcona	Charco	5
OG-43	1	Torcona	Marmita	5
OG-44	1	Torcona	Marmita	5
OG-17	1	Gal. Italianos	Charco	1
OG-30	1	Gal. Italianos	Charco	-
OG-31	2	Gal. Italianos	<i>Gou</i>	-
OG-32	1	Gal. Italianos	Charco	-
OG-33	2	Gal. Italianos	Marmita	-
OG-34	1	Gal. Italianos	Lago	-
OG-35	1	Gal. Italianos	Charco	-
OG-36	1	Gal. Italianos	Charco	-
OG-37	1	Gal. Italianos	Charco	-
OG-38	1	Gal. Italianos	Charco	-
Sumidero	1	Dédalo Oeste	Río	4
S. Dolencias	1	Dédalo Oeste	Lago	2
OG-50	1	Dédalo Oeste	Charco	3
OG-51	1	Dédalo Oeste	Charco	3
OG-52	1	Dédalo Oeste	<i>Gour</i>	3
OG-53	1	Dédalo Oeste	Charco	3
OG-54	1	Dédalo Oeste	Charco	2

Aparecen en el apéndice 3 y son aquellas cuya numeración está comprendida entre OG-17 y OG-54, además de tres muestras colectadas en la surgencia de La Torcona, una muestra del lago que hay al fondo de la Sima Dolencias y una muestra colectada en el sumidero del río Guareña, el principal punto de recarga de la parte occidental. En el análisis se han incluido algunas características ambientales: sector de la Cueva al que pertenece la localización, la naturaleza del hábitat y la permanencia del agua en cada uno de los enclaves, caso de conocerse, que se reúnen en el cuadro 5.3.4.2.a.

5.3.4.2.1. Agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

El árbol jerárquico obtenido mediante este análisis se representa en la figura 5.3.4.2.1.a. Se forman tres grupos, denominados A, B y C y delimitados en la figura, a la vez que queda representada una muestra excepcional, de OG-53, que no se agrupa con las demás. Se ha intentado interpretar la formación de los grupos con diferentes características de los hábitat: naturaleza del sustrato, tiempo de permanencia del agua, comparando los diferentes puntos de muestreo individualmente y reuniéndolos por su localización en los distintos sectores de la Cavidad.

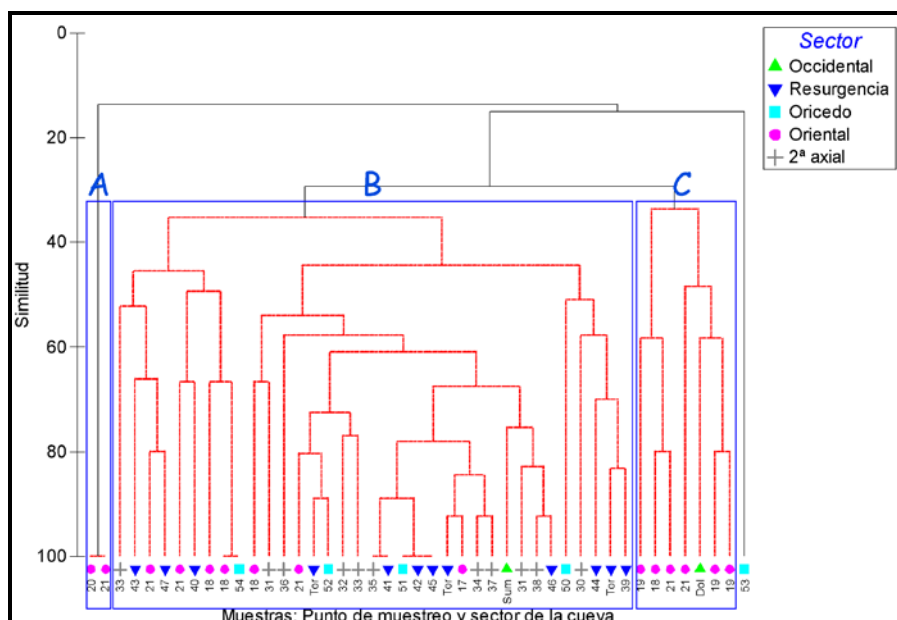


Figura 5.3.4.2.1.a. Agrupamiento jerárquico de las muestras de fauna del *recorrido ocasional*. Se indican el punto de muestreo y sector de la Cueva en que se localiza cada uno de ellos.

Los grupos representados en la figura se caracterizan por lo siguiente:

- 1) El grupo A está formado por dos muestras tomadas en el Sector Oriental, OG-20 y OG-21, que son las únicas muestras en las que se obtuvieron copépodos harpacticoides, pero sin crustáceos ostrácodos de fauna acompañante.

- 2) En el grupo B se encuentra reunida la mayor parte de las muestras de los cinco sectores, y en todas ellas hay copépodos ciclopoides o, en su defecto, anfípodos. Sin embargo, no hay una explicación a este agrupamiento según la naturaleza del hábitat o la distribución espacial, en función de la posición en el complejo kárstico, ya que en el grupo B aparecen muestras de las localizaciones OG-18 y OG-21, que también se encuentran en los otros dos grupos, A y C.
- 3) En este grupo C están las tres muestras de OG-19, además de otras colectadas en OG-18, OG-21 y en la Sima Dolencias. En estas muestras no se detectaron copépodos ciclopoides, que han sido muy frecuentes en las otras muestras.

Este análisis, por tanto, no presenta un patrón espacial claro de la distribución faunística en el recorrido ocasional de Palomera, ni tampoco por la naturaleza del hábitat o el tiempo de permanencia del agua en las diferentes localizaciones.

5.3.4.2.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

Los datos utilizados son los mismos que para el análisis de agrupamiento anterior, cuadro 5.3.4.2.a y sus respectivos datos faunísticos del apéndice 3.

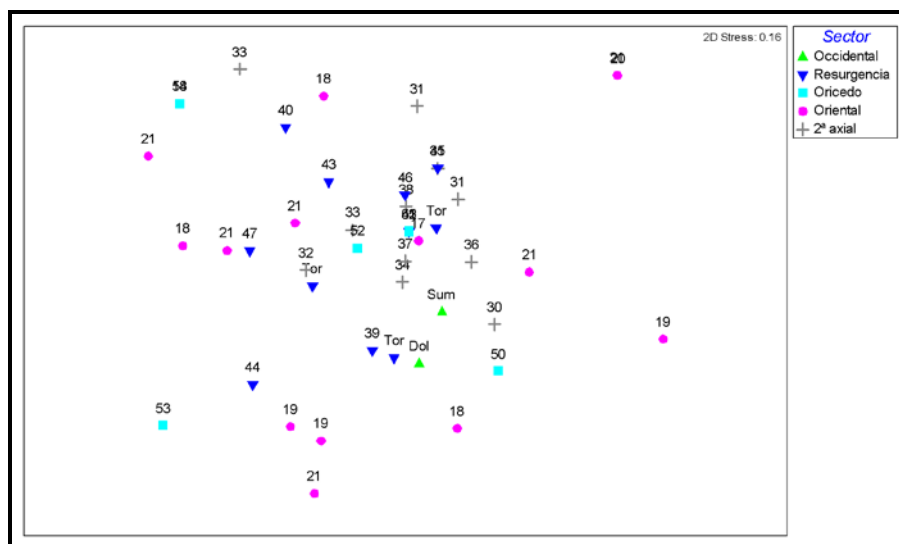


Figura 5.3.4.2.2.a. Agrupamiento jerárquico de las muestras de fauna del *recorrido ocasional*. Se indican el número de punto de muestreo y sector de la Cueva en que se localiza cada uno de ellos.

Como resultado del análisis se ha obtenido el gráfico de la figura 5.3.4.2.2.a. Se observa en la distribución de las muestras que no existe un agrupamiento definido, que pueda indicar una preferencia de los grupos taxonómicos por un tipo de hábitat o por un sector de la Caverna.

5.3.4.2.3. Análisis de similitud (ANOSIM)

El análisis de similitud de este grupo de muestras se ha realizado con base en la naturaleza del hábitat, la distribución según los sectores de la Cavidad y el tiempo de permanencia de las aguas en las localizaciones. No tiene sentido hacerlo en base a los puntos de muestreo, ya que muchos de ellos no tienen réplicas y no se pueden hacer permutaciones entre las muestras para los cálculos de probabilidad. Los datos utilizados son los mismos de los análisis anteriores, recogidos en el cuadro 5.3.4.2.a y en el apéndice 3. Sin embargo, en este caso no se han obtenido índices R elevados, mayores que 0,25, que alcanzaran un nivel de significación $p=0,05$.

Por tanto, se puede concluir el análisis de los datos faunísticos del recorrido ocasional afirmando que no se detecta un patrón de distribución claro de los grupos taxonómicos. Puede que un trabajo más intensivo, con réplicas a lo largo del año y más puntos de muestreo, permitiera entender mejor la distribución de la fauna en el conjunto de la Cueva.

5.3.4.3. Análisis estadístico de la distribución faunística en el entorno

Se ha realizado el análisis multivariante con los datos disponibles de la presencia de fauna en el *entorno*, 62 muestras que presentaron fauna procedente de 38 puntos de muestreo. La finalidad es comparar la distribución faunística de la cavidad principal con la de sus alrededores y para poder encontrar patrones del establecimiento de la fauna en función de ciertas características de las localizaciones, como su naturaleza o su situación en el complejo kárstico. Para ello se han utilizado los datos y las propiedades recogidos en la tabla 5.1.3.4.a y en el apéndice 5.

5.3.4.3.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

El resultado del agrupamiento jerárquico se plasma en la figura 5.3.4.3.1.a, donde se aprecia una distribución de las muestras que tiene cierta similitud a la obtenida en el mismo análisis de los datos físico-químicos: la mayoría de muestras del medio hiporréico aparecen agrupadas en una misma unidad y las muestras de cueva, en general, igualmente se diferencian de las demás.

A la vista de la figura se puede destacar lo siguiente:

- a) El grupo 1 está constituido por dos muestras de diferentes cuevas, Prado Vargas y Cueva la Mina. En ambas se colectaron dos muestras, pero exclusivamente en las dos que forman este grupo 1 se han detectado sólo sincáridos batineláceos, lo que hace que segreguen del resto de las muestras.
- b) El grupo 2 también contiene dos muestras, en este caso de dos hábitat distintos, medio hiporréico del río Guareña, junto a la población de Cueva y la Sima Rizuelos. Esta sima está relativamente cercana al río Guareña, en la principal zona de recarga del complejo kárstico y tienen en común la escasez de fauna. Ambas presentan

ostrácodos, la sima con dos grupos faunísticos más, limnohalacáridos y copépodos harpacticoides y, en el caso del río, su muestra sólo añade oligoquetos.

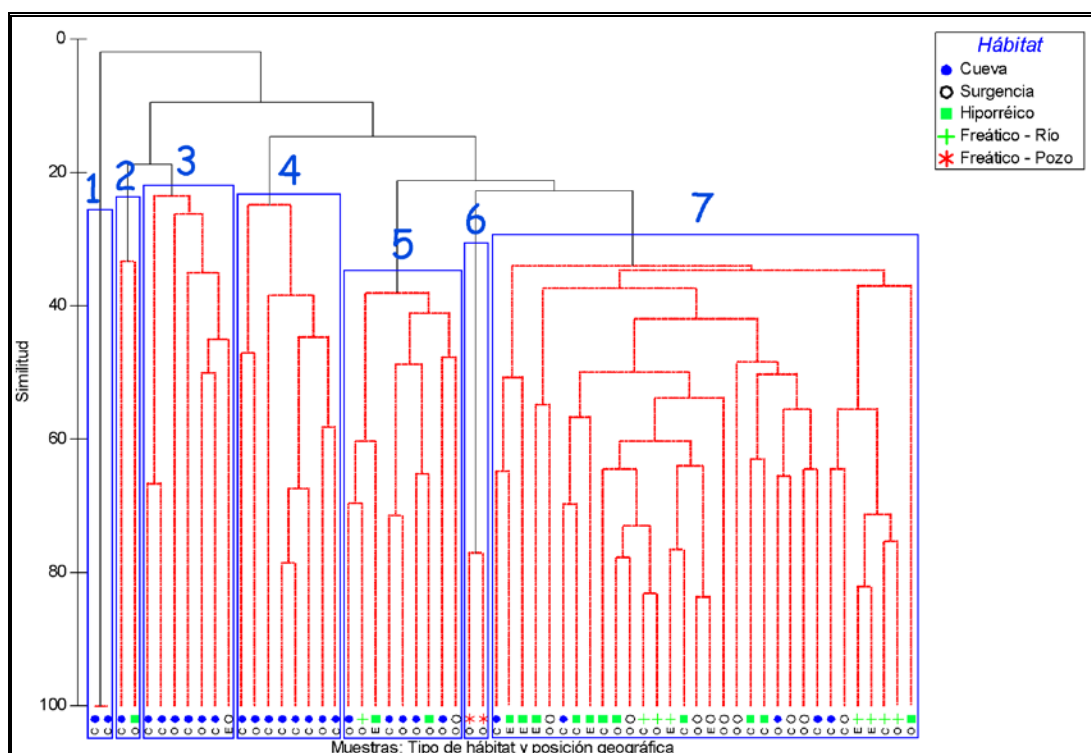


Figura 5.3.4.3.1.a. Análisis de agrupamiento jerárquico no ponderado del conjunto de muestras faunísticas colectadas en el *entorno*. Se indican el tipo de hábitat y la situación geográfica en el área del complejo kárstico (E, este; C, centro y O, oeste).

- c) Los grupos 3 y 4 están dominados por muestras de cueva, de ellas proceden catorce de las quince muestras, a las que se añade una de surgencia, la fuente que hay en la población de Cornejo. El grupo 3 son siete muestras, seis de cuevas y la otra de la fuente de Cornejo, todas ellas con una escasa representación de grupos faunísticos, pero con más crustáceos que el anterior grupo 2. Las muestras del grupo 3 se distribuyen por diferentes áreas del complejo. El grupo 4 lo integran ocho muestras que son exclusivamente de cuevas y se caracterizan por haber mostrado una abundancia media de gasterópodos y ostrácodos, siendo casi nula la presencia de nematodos y oligoquetos, que en otras muestras son abundantes.
- d) El grupo 5 es una mezcla de muestras de cuevas, surgencias, medio hiporréico y freático superficial. Tienen una composición faunística heterogénea y su agrupamiento resulta algo enigmática.
- e) En el grupo 6 se hallan las dos muestras de pozo, caracterizadas por una diversidad importante de copépodos ciclopoideos detectada en ellas.

- f) Y, por último, el grupo 7, con treinta y tres muestras, principalmente de surgencias y de puntos ligados a los ríos, medio hiporréico y freático superficial. Este conjunto de muestras es heterogéneo en cuanto a la naturaleza del hábitat, la estación del año en que fueron recolectadas y la posición geográfica. Tienen en común una gran abundancia general de grupos taxonómicos, aunque destaca entre todos la gran densidad de nematodos y oligoquetos.

En conjunto, los agrupamientos no admiten una explicación sencilla: hay algunos enclaves en que se muestrearon diferentes puntos de la misma naturaleza, como es el caso de la cueva de Prado Vargas, donde se utilizó la técnica de removido con manga en dos *gours* someros y que aparecen segregadas en dos grupos con diferencias significativas, grupos 1 y 2. Lo mismo ocurre con otras muestras, entre las que se encuentran tres réplicas de la cueva Racino, dos de ellas en el grupo 3 y una más en el grupo 4, que aparecen en la gráfica junto con otras cuevas distantes geográficamente, dentro de los grupos 3 y 4. También se ha señalado anteriormente la heterogeneidad del grupo 7.

Las muestras de cuevas aparentemente tienen diferencias significativas con aquellas que proceden de otros ambientes, a pesar de que las propias muestras de las cuevas son heterogéneas.

Todo ello pone de manifiesto la fragmentación que debe existir en el epikarst. Así, en algunas cavidades con dos puntos muy próximos en el espacio, puede ocurrir que uno de ellos sea propicio para el desarrollo de un grupo faunístico y el hábitat contiguo no reuna las condiciones para serlo.

5.3.4.3.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

El resultado del análisis de ordenación no paramétrica multidimensional, se puede observar en la figura 5.3.4.3.2.a. La representación gráfica en dos dimensiones está al límite de lo aceptable, según el criterio de Rohlf (índice de stress 0,2).

En la gráfica se observa que las muestras se encuentran en una dispersión continua, sin formar grupos discretos. A pesar de la disposición compacta de todo el conjunto, se puede ver cómo las dos muestras de pozos vuelven a aparecer juntas y en un margen, en la parte izquierda. Próximo a éstas, hay una agregación de muestras asociadas a los ríos, del medio hiporréico y freático junto a las márgenes de los ríos, entremezclándose pocas muestras de cuevas o surgencias. Las muestras de surgencias y cuevas, más ligadas al epikarst, se distribuyen de forma más dispersa en la gráfica, indicando una mayor heterogeneidad en la fauna que albergan entre las diferentes cuevas, mientras que algunas cuevas tienen cierta similitud con otros ambientes. Esto no es de extrañar, ya que el medio acuático subterráneo es

un continuo, de modo que el agua de las cuevas, de los ríos, de las surgencias y del medio freático superficial y profundo está en contacto y los comunica entre sí.

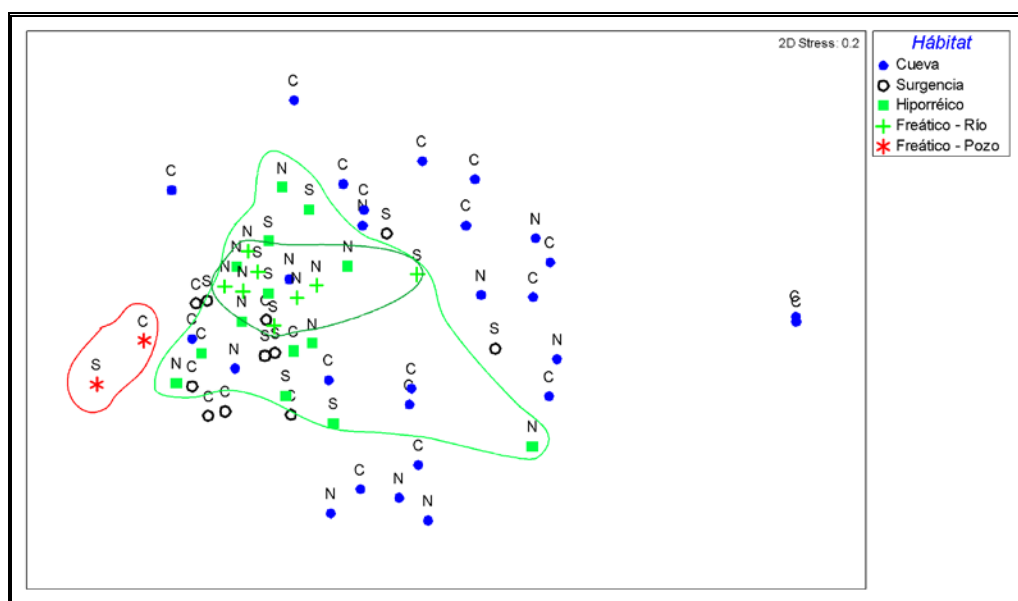


Figura 5.3.4.3.2.a. Análisis no paramétrico multidimensional del conjunto de muestras faunísticas colectadas en el entorno de Ojo Guareña. Se indican el tipo de hábitat y la situación geográfica: N, norte; C, centro y S, sur.

No se detecta un patrón en función de la situación espacial, ya que las muestras procedentes de las diferentes zonas, norte-centro-sur y este-centro-oeste, aparentemente se distribuyen de modo aleatorio.

5.3.4.3.3. Análisis de similitud (ANOSIM)

Se ha realizado el análisis de similitud utilizando como factores de agrupamiento el tipo de hábitat y la situación espacial del punto de muestreo. Tienen valores de R muy bajos y en ambos casos con un valor de significación muy bajo, $p > 0,5$, muy alejado del 0,05 que habitualmente se utiliza en estudios ecológicos. Por tanto, considerando los grupos taxonómicos superiores no se pueden encontrar diferencias significativas entre las localizaciones, en función de su naturaleza ni según su posición espacial.

5.3.5. Análisis faunístico: nivel específico. Estadística multivariante

Se han realizado los análisis estadísticos con los datos faunísticos con el mayor nivel de detalle taxonómico (especie/subespecie) alcanzado en la determinación de la fauna. La finalidad de estos análisis es detectar si se mantienen los patrones de distribución, o si cambian, considerando diferentes niveles taxonómicos de la fauna hallada: Clase/Orden/Familia, frente a nivel de Género/Especie/Subespecie.

5.3.5.1. Análisis estadístico de la distribución de las especies en el *recorrido habitual*

En el *recorrido habitual* de Palomera se han detectado 69 taxones diferentes procedentes de 129 muestras. La matriz utilizada en este apartado es un extracto del apéndice 4 -especies de la Cueva-, y corresponde con los datos de las localizaciones OG-01 a OG-16.

5.3.5.1.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

Dado el elevado número de muestras de fauna recogidas, utilizando la matriz con los datos en bruto se obtiene un ‘clúster’ complejo de difícil lectura e interpretación. Para poder avanzar en el análisis e interpretación, se ha optado por integrar la presencia de las especies en todas las muestras según determinados criterios. Por un lado, se han sumado las presencias en cada uno de los diez puntos de muestreo para todo el periodo de estudio, y se ha estandarizado el valor obtenido para cada una de dichas localizaciones, en base al valor máximo de presencias y según se ha explicado en el apartado metodológico, con el fin de resolver mejor sus afinidades. Es decir, la matriz de datos queda reducida a la presencia de los taxones en los distintos lugares, en todo el periodo de muestreo considerado. Un análisis alternativo, persigue encontrar patrones equivalentes utilizando exclusivamente los métodos de muestreo como elemento diagnóstico. La matriz, en este caso, se compone de las distintas presencias/ausencias de especies por localización espacial y método de muestreo. Se ha realizado un análisis adicional de las especies por método de muestreo y naturaleza del hábitat, pero no se incluye el resultado, ya que la propia matriz de datos a analizar no resulta conceptualmente clara.

En busca de un patrón espacial, se ha tomado como factor de agrupación previa de los datos la ‘localización de muestreo’. Resulta una de las distribuciones más distintivas, figura 5.3.5.1.1.a. En ella existen dos grupos de localizaciones, grupos A y B, de los que se puede señalar lo siguiente:

- En el grupo A se encuentran las cuatro localizaciones de Gour de las Hojas, OG-07, OG-08, OG-10 y OG-15, además de OG-02, OG-12 y OG-14. Están distribuidos por diferentes zonas del *recorrido habitual* y tienen diferente naturaleza, con periodos de recarga distintos. Aparecen nematodos en numerosas muestras, así como diversas especies de copépodos del género *Diacyclops*, siete especies, mientras que en las muestras del grupo B los nematodos son muy escasos y sólo se aislaron *Diacyclops* de tres especies en OG-09. Hay otros *taxa* más o menos abundantes en este grupo A que están ausentes en el grupo B: gasterópodos *Zospeum*, oligoquetos *Cernosvitoviella* Nielsen & Christensen, 1959, *Marionina* Michaelsen, 1889 y *Rhyacodrilus* Bretscher, 1901, los ácaros limnohalacáridos y ostrácodos *Candona* y *Potamocypris*. Entre ellos, los limnohalacáridos forman parte de la fauna subterránea estricta, pero los otros no son subterráneos, o incluso habitan medios terrestres muy húmedos y aparecen fortuitamente (*Zospeum* sp.).

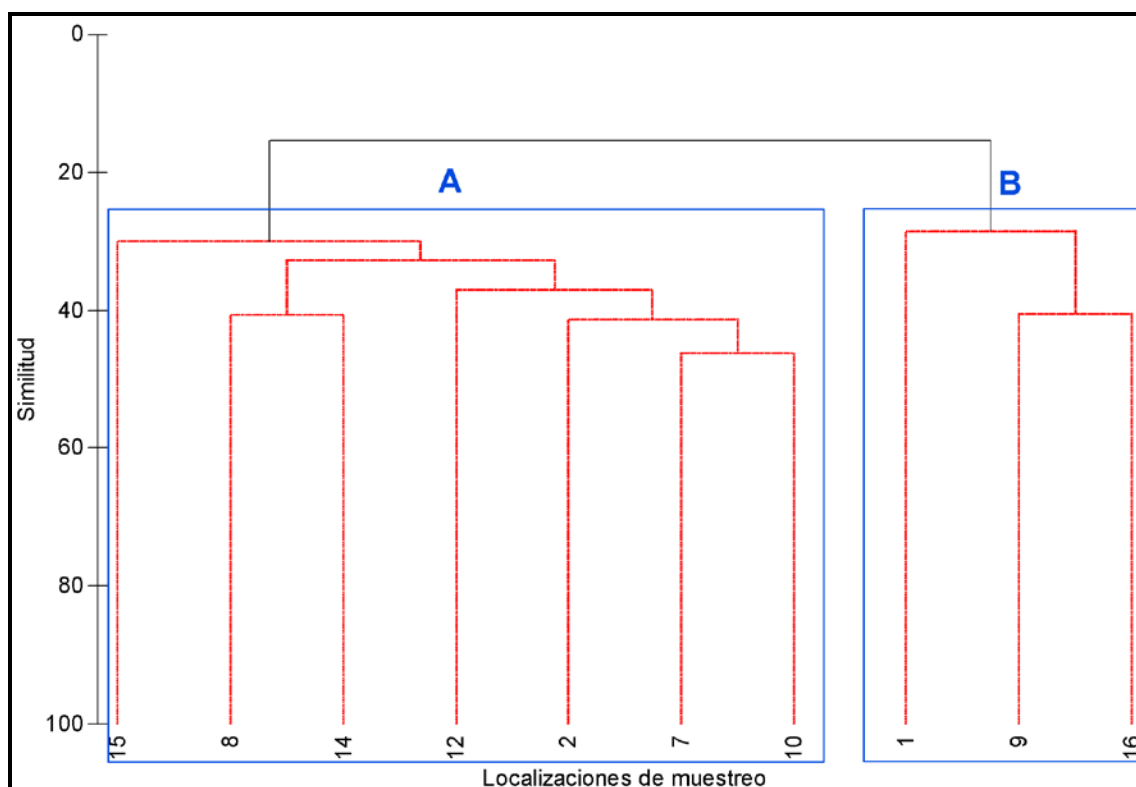


Figura 5.3.5.1.1.a. Agrupamiento de las localizaciones según la incidencia de las especies identificadas en el conjunto de las muestras del *recorrido habitual*.

- El grupo B reúne las localizaciones OG-01, OG-09 y OG-16. De las tres, OG-09 y OG-16 se encuentran próximas en la Galería Principal y se alimentan de goteos difusos. Sin embargo, OG-01 es un conjunto de *gours* someros y se encuentra más retirada, en el extremo occidental de este itinerario. Estas localizaciones se agrupan por la presencia muy frecuente del sincárido *Vejdovskybathynella edelweiss*, que aparece en todas las muestras de OG-01 y OG-16 y en numerosas fechas de las colectas realizadas en OG-09. Este batineláceo que aparece en estas tres localizaciones no se ha obtenido en las otras siete del *recorrido habitual*. Hay otras especies que se han colectado en dos de los tres lugares del grupo B, aunque ninguna con una presencia importante y regular como *Vejdovskybathynella edelweiss*: OG-09 y OG-16 tienen varias especies en común, como la presencia exclusiva del tardígrado *Macrobiotus* del grupo *hufelandi* Schultze, 1833 y un nuevo género de sincárido, que ha aparecido varias veces en éstas dos y sólo en una ocasión en OG-14, considerando el *recorrido habitual*. Sin embargo, el tardígrado tiene una presencia más casual, puesto que está ligado al medio epigeo. Las dos especies de sincáridos son típicamente acuáticos subterráneos, como todas las de su grupo y se encuentran en un entorno más acorde a sus adaptaciones biológicas.

En las localizaciones del grupo A se ha colectado una fauna diversa. Han aparecido numerosos taxones procedentes del medio epigeo. Esto puede ser debido a que el agua percola rápidamente desde el exterior, sometida a una escasa filtración en el epikarst y poco saturada de CO₂, que aporta sedimento al fondo de los charcos y no calcifican. A su vez implica que hay más alimento disponible, dando la posibilidad de supervivencia a especies de mayor tamaño, como los isópodos de OG-12 y OG-14.

Dentro de las tres localizaciones agrupadas en B, en OG-16 y OG-09 se ha detectado la presencia de más especies estigobias y totales. El número de estigobios registrados es: uno en OG-01, tres en OG-16 y seis en OG-09. En esta última localización se han colectado más muestras y dicha diferencia en el número de estigobios es lógica, también por ser un charco que recibe una infiltración más intensa y prolongada, de modo que no llega a secarse en todo el año. El mayor número de especies, estigobias y totales, que hay en OG-16 respecto a OG-01 se puede explicar con el mismo argumento que en el caso de OG-09, desde una perspectiva hidrológica: OG-16 está bajo la influencia de unas recargas intensas de agua que proceden del epikarst.

Durante el periodo de estiaje, cuando el volumen de agua en OG-09 desciende hasta niveles críticos, entre junio y septiembre, el número de especies también ha descendido, incluso en algunas ocasiones no se ha obtenido taxón alguno, como ocurre en agosto y septiembre de 2002 y septiembre de 2004. El momento en que más taxones han aparecido ha sido durante el comienzo del deshielo o durante la época de lluvias: febrero, junio y noviembre de 2002 y marzo de 2003.

Las localizaciones OG-01 y OG-16 permanecen vacíos de agua gran parte del año; se recargan y se secan rápidamente, puesto que son charcos someros, de extensión variable según el volumen de agua que se infiltra en cada época. Por tanto, la fauna que se encuentra en estos charcos tiene que provenir directamente del epikarst y filtrarse con el agua por microfisuras hacia niveles inferiores, o bien crear formas de resistencia que se resguarden en el sedimento. En los crustáceos subterráneos que se relacionan aquí no se conocen formas de resistencia, estadios quiescentes, para sobrevivir a los periodos largos en que se secan los charcos. Así, la fauna que quede atrapada en la superficie rocosa o sedimentaria y no consiga trasladarse a otros ambientes con agua suficiente, debe perecer.

Al buscar diferencias según la naturaleza del emplazamiento y la estación del año de recolección, el resultado de este análisis de agrupamiento es más resolutivo: figura 5.3.5.1.1.b. Los hábitat se agrupan independientemente de la estación del año, a excepción de las muestras de *gour* tomadas en verano, diferentes del resto y que están más próximas a las de charco que a sus semejantes de *gour*.

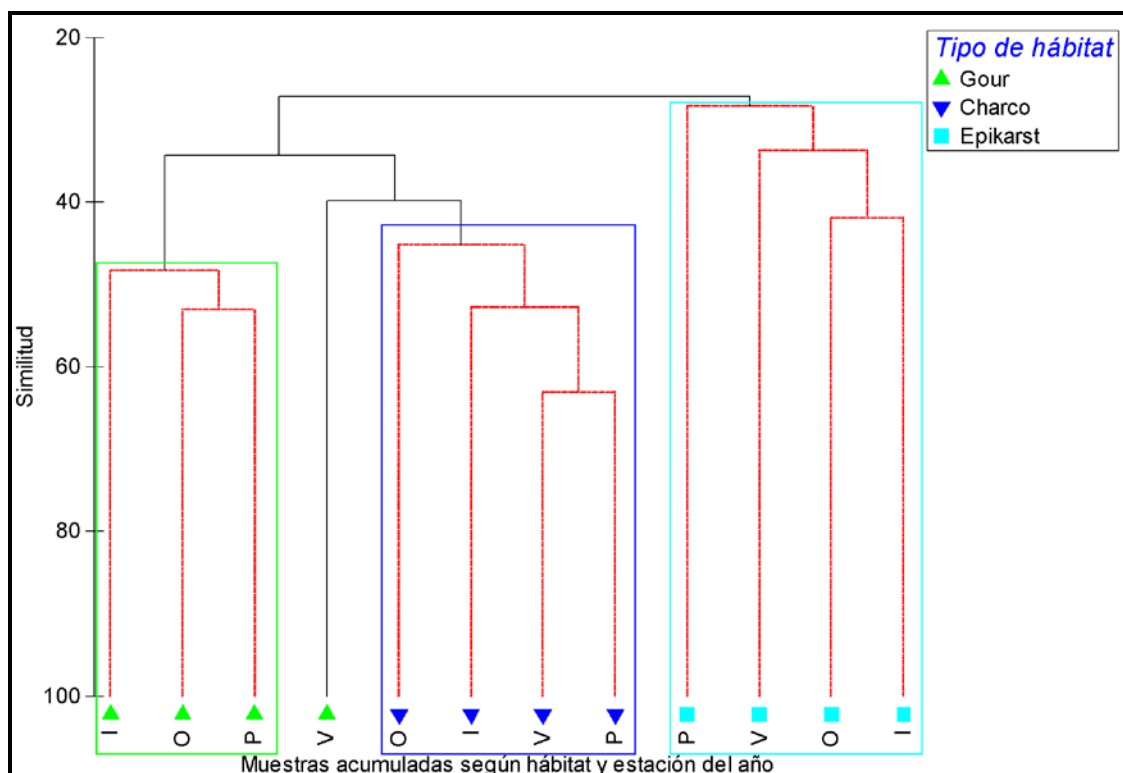


Figura 5.3.5.1.1.b. Agrupamiento de los puntos de muestreo según la incidencia de las especies determinadas en el *recorrido habitual*, por tipo de hábitat muestreado y estación del año. (P: primavera; V: verano; O: otoño e I: invierno).

Los tres ambientes se diferencian por lo siguiente:

- En los *gours* se ha colectado una fauna heterogénea, sin una dominancia total de algún grupo faunístico. Sin embargo, por los registros se puede deducir que su agrupamiento se debe a una presencia relativamente elevada de oligoquetos del género *Achaeta* Vejdovsky, 1878 respecto a los otros dos hábitat y la aparición exclusiva del oligoqueto *Cognettia* Nielsen & Christensen, 1959 y de la nueva especie de ostrácodo estigobio *Pseudocandona* n. sp.2. Por otro lado, el sincárido *Vejdovskybathynella edelweiss*, más abundante en *gours* que en charcos, no se ha encontrado en los goteos estudiados que aportan directamente agua del epikarst. Sin embargo, otros goteos que no se han podido muestrear, por inundarse periódicamente y estar bajo la influencia de fuertes avenidas de agua en la época de muestreo ideal, la de mayor recarga, deben surtir de fauna las masas de agua. La sala del Museo de Cera, OG-01, tiene unos *gours* que están secos buena parte del año, apenas con sedimento, donde la fauna tiene muy difícil la supervivencia. El sincárido *Vejdovskybathynella edelweiss* ha aparecido siempre que se ha encontrado agua en dicha localización y en números muy elevados. No se conocen formas de resistencia con las que puedan sobrevivir sin agua de un año a otro. Con lo cual no debe ser su hábitat principal y debe estar en el *gour* de forma accidental donde pueden morir, o permanecer transitoriamente, si son capaces de penetrar en alguna

microfisura de la superficie rocosa y descender a niveles inferiores del karst que posean suficiente agua.

- En los charcos se han obtenido más nematodos que en los otros dos medios, además de haberse extraído de modo exclusivo algunos anélidos oligoquetos, los géneros *Aeolosoma* Ehrenberg, 1831, *Limnodrilus* Claparède, 1862, *Potamothenix* Vejdovsky & Mrázek 1903 y *Henlea* Michaelsen, 1889, y diversos crustáceos: un ostrácodo - *Potamocypris* “*fulva*” (Brady, 1868)- y copépodos, dos especies de *Acanthocyclops*, además de los géneros *Diacyclops*, *Eucyclops*, *Megacyclops* Kiefer, 1927, *Bryocamptus* y *Parastenocaris*. El ostrácodo *Candona neglecta* G.O. Sars, 1887 se ha obtenido en varias ocasiones, en diez muestras de distintas épocas del año, así como ha ocurrido con el isópodo *Proasellus* cf. *ortizi*. Los charcos han sido el único medio con el copépodo *Megacyclops viridis viridis*, aparecido en muestras de las cuatro estaciones del año. Por otra parte, el ostrácodo *Potamocypris* cf. “*fulva*” tiene una presencia destacada en charcos, en once ocasiones, mientras sólo se ha detectado tres veces, uniendo las muestras de filtrado de goteo (epikarst) y las de *gour*. Los charcos, al poder tener un fondo más arenoso y/o fangoso por su origen, tienen la capacidad de albergar mayor cantidad de fauna y de nutrientes que el fondo rocoso de los *gours*, y por ende, una mayor diversidad de especies.
- En las muestras procedentes del epikarst, el filtrado de goteos, se ha observado una fauna escasa, en general. Sin embargo, ha habido una presencia única del molusco gasterópodo *Potamopyrgus* Stimpson, 1865 y del oligoqueto *Rhyacodrilus* sp.2. También hay una mayor abundancia del gasterópodo *Zospeum* y de los crustáceos copépodo *Speocyclops* e isópodo *Stenasellus* que del resto de taxones. La escasez de fauna se deberá a que es fauna filtrada desde el epikarst y a que los goteos muestreados no eran muy profusos, para evitar su instalación en zonas sometidas a fuertes corrientes de agua e inundación que pueden arrastrar el mecanismo en épocas de recarga intensa del acuífero. Son frecuentes los goteos difusos y abundantes, que en conjunto aportan gran cantidad de fauna, pero que son difíciles de captar, debido a esa dispersión por el techo de la Caverna.

Algunas especies estigobias que se encuentran con frecuencia en pequeños charcos temporales se podría esperar que encontraran un hábitat apropiado en localizaciones con grandes masas de agua, como OG-12 y OG-14. Sin embargo, no aparecen o tienen una presencia casi nula. Esto se puede explicar por la aparición de fauna de mayor tamaño, como los isópodos asélidos en OG-12 y estenasélidos en OG-14, con presencia habitual y que son más voraces que el resto de la fauna encontrada, que deben competir por los recursos alimenticios e incluso pueden depredar sobre grupos de menor tamaño. El isópodo *Stenasellus*

virei buchneri abundante en OG-14 encuentra ahí un hábitat propicio, donde será capaz de completar su ciclo vital. En el charco parece que se encuentra una población estable, además de aportes exógenos de otros ambientes colindantes de donde proviene el agua de recarga de la Granja de Ortiz. Para confirmar esta hipótesis habría que plantear un experimento de captura y recaptura, muy complejo teniendo en cuenta que la fauna es acuática y dificulta su marcaje mediante tinción, es de tamaño reducido y es muy sensible al estrés.

El patrón espacial obtenido mediante el análisis de las especies es muy similar al que ofrece el análisis general de los taxones superiores, en el que se diferencian algunas localizaciones. Con este análisis de la distribución de las especies, según la naturaleza del hábitat (*gour*, charco y epikarst) se obtiene una mayor resolución.

5.3.5.1.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

En la ordenación no paramétrica multidimensional, del mismo modo que en el agrupamiento anterior y para facilitar la lectura e interpretación de los resultados, se han sumado los datos de incidencia de las especies con distintos criterios: localización de muestreo, naturaleza del hábitat, estación del año y técnica de muestreo empleada. La mejor ordenación se obtiene sumando los datos según su localización y la técnica de muestreo empleada en su obtención, figura 5.3.5.1.2.a. En esta representación se puede ver cómo se agrupan los elementos en función de la técnica de muestreo empleada, con cercos continuos de distintos colores, diferenciándose bien las muestras de ‘kicking’ y trampa con cebo, además de la disposición compacta de las muestras obtenidas mediante removido con manga; sin embargo, también se observan dos agregados según la procedencia, dentro de las líneas discontinuas en gris: las muestras de Granja de Ortiz -OG-14 y las que proceden de Gours de las Hojas -OG-07, OG-08, OG-10 y OG-15-.

De este modo se ponen de manifiesto las diferencias que existen entre algunos métodos de muestreo, principalmente entre la trampa con cebo y el método de ‘kicking’, que se debe a la afinidad de un grupo de la fauna por determinadas localizaciones y/o ambientes. El resultado de este análisis de ordenación con las especies es muy similar al obtenido mediante el análisis de los grupos faunísticos superiores (clase-orden), con un nivel de deformación en la representación aceptable ($\text{stress}=0,1$). Ambos distinguen principalmente entre las técnicas de muestreo de removido con manga y la utilización de trampas con cebo, mientras que los otros factores consiguen representaciones con agrupaciones más difusas, con mayor solapamiento.

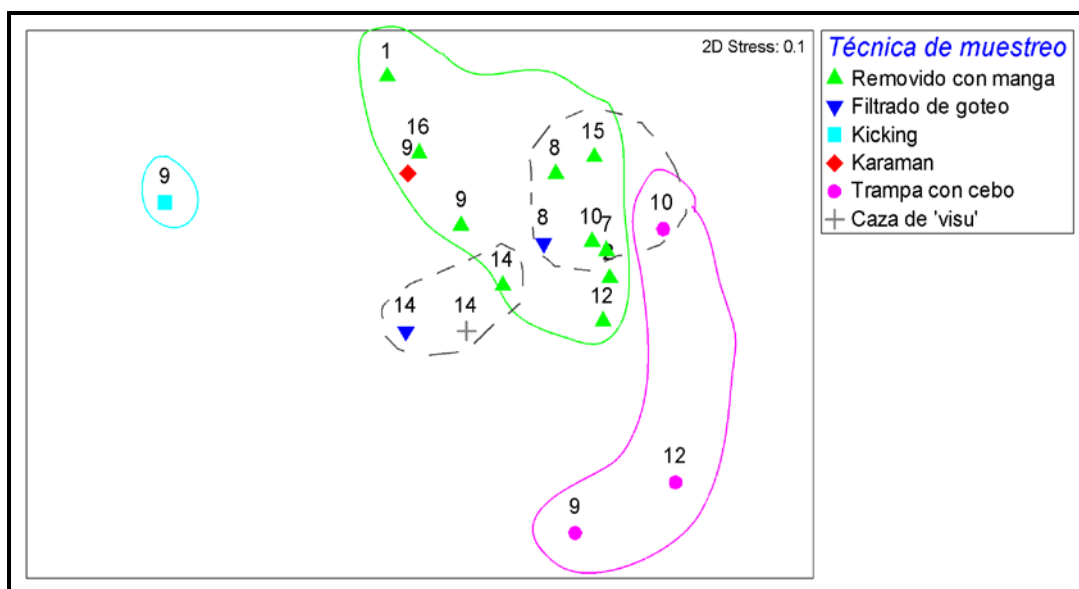


Figura 5.3.5.1.2.a. Ordenación multidimensional no paramétrica de las muestras según la incidencia de las especies identificadas, por localización y técnica de muestreo.

Al realizar el mismo tipo de ordenación de los datos, sumando los resultados de presencia/ausencia de especies según la estación del año y el tipo de hábitat, como se hiciera con el análisis de agrupamiento, la diferenciación entre grupos se hace mucho más evidente, figura 5.3.5.1.2.b: la fauna de *gours* contenida en el cercado verde; la fauna colectada en los charcos, señalada en azul oscuro y la fauna procedente del epikarst, en otra área del gráfico y marcada en azul claro. Las especies que caracterizan cada uno de estos grupos son las que se han señalado en el análisis de agrupamiento, puesto que se utiliza la misma matriz de datos:

- En los *gours* destaca una presencia exclusiva o una mayor abundancia de algunos oligoquetos, *Achaeta* y *Cognettia*, del crustáceo sincárido *Vejdovskybathynella edelweiss* y del crustáceo ostrácodo trapezoide *Pseudocandona* n. sp.2. Es razonable que especies estigobias, como estas dos últimas especies, sean habituales en los *gours*: la recarga hídrica de los *gours* se realiza con agua de infiltración, tras atravesar el epikarst, y la fauna transportada puede sobrevivir un tiempo variable en el agua embalsada.
- En los charcos hay gran abundancia y variedad de fauna, hay una predominancia relativa de crustáceos, ostrácodos y copépodos, respecto de los otros dos ambientes. Como ya se ha expuesto, los charcos tienen un fondo más o menos arenoso, cuyo espacio intersticial permite una mayor saturación de solutos y un mayor contenido de alimento y fauna.
- En las muestras de filtrado de goteos procedentes del epikarst se ha observado un número relativamente bajo, en comparación con *gours* y charcos. Éste es el único hábitat de los tres en el que no se han encontrado limnohalacáridos, mientras que los

gasterópodos han tenido una mayor presencia en este hábitat que en los otros dos, así como algunos crustáceos.

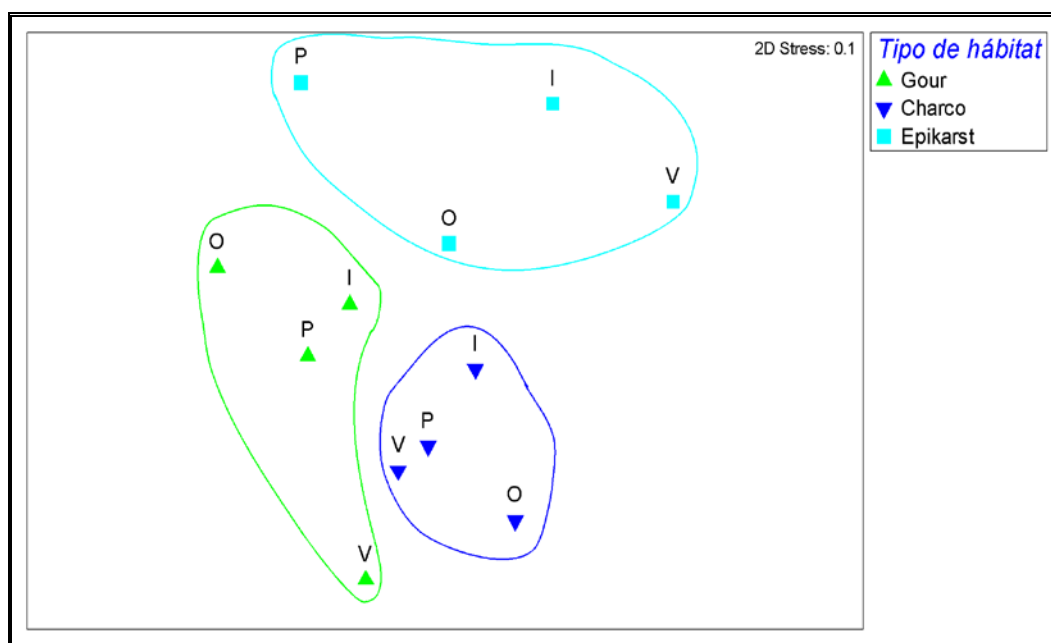


Figura 5.3.5.1.2.b. Ordenación multidimensional no paramétrica, en función de la incidencia de las especies identificadas, de las muestras reunidas según el tipo de hábitat y la estación del año del muestreo (P: primavera; V: verano; O: otoño e I: invierno).

5.3.5.1.3. Análisis de similitud (ANOSIM)

El análisis de similitud, al no ofrecer una representación gráfica con las muestras independientes, como en el caso de las ordenaciones, permite hacer una comparación cómoda de numerosas muestras, utilizando distintos factores de análisis y sin necesidad de agruparlas.

La característica que consigue una diferenciación mayor de los grupos formados es la localización de muestreo, Cuadro 5.3.5.1.3.a, con un índice R global de 0,194 y un nivel de significación $p=0,001$. Es un índice R de conjunto un poco escaso, pero sí tiene un nivel de significación muy importante y conviene detenerse a analizar las diferencias existentes entre los distintos pares de grupos formados. En este caso, la localización, los sectores de la Cavidad en que se muestreó, es el factor que consigue una mayor diferenciación.

Las localizaciones con mayor homogeneidad interna respecto a otras localizaciones se han resaltado en negrita. Aquella que destaca más sobre el resto es la Granja de Ortiz, OG-14, con un índice R alto y un nivel de significación menor que 0,05 comparado con los grupos de muestras siguientes: con las de OG-01, $R=0,54$ para $p=0,008$; con las del punto OG-02, $R=0,378$ para $p=0,04$; con la localización OG-07, $R=0,475$ para $p=0,001$; con OG-10, $R=0,376$ para $p=0,001$; con el punto OG-12, un índice $R=0,45$ para $p=0,001$; con la

localización OG-15, $R=0,467$ para $p=0,001$ y por último, con OG-16, un $R=0,485$ para $p=0,013$.

Cuadro 5.3.5.1.3.a. Análisis de similitud con las incidencias de especies en las muestras del *recorrido habitual*.

Diferencias entre los grupos de LOCALIZACIÓN + TÉCNICA DE MUESTREO

R Global: 0.194

Nivel de significación: 0.1%

Análisis de pareados

Pares de grupos	Estadístico R	Nivel de significación	Permutaciones posibles
1, 2	0.630	0.100	10
1, 7	0.556	0.012	84
1, 8	0.230	0.064	2925
1, 9	-0.144	0.938	4495
1, 10	0.289	0.012	1140
1, 12	0.286	0.003	680
<u>1, 14</u>	<u>0.545</u>	<u>0.008</u>	2925
1, 15	0.497	0.012	84
1, 16	0.037	0.429	35
2, 7	-0.092	0.667	84
2, 8	0.055	0.326	2925
2, 9	0.005	0.467	4495
2, 10	-0.037	0.566	1140
2, 12	-0.030	0.572	680
<u>2, 14</u>	<u>0.378</u>	<u>0.039</u>	2925
2, 15	0.142	0.274	84
2, 16	0.741	0.029	35
7, 8	0.049	0.296	593775
7, 9	0.053	0.165	1344904
7, 10	-0.036	0.598	100947
7, 12	0.002	0.460	38760
<u>7, 14</u>	<u>0.475</u>	<u>0.001</u>	593775
7, 15	0.118	0.132	462

También se puede destacar OG-16, con un índice R elevado con cuatro localizaciones, OG-02, OG-07, OG-14 y OG-15; y con las localizaciones OG-01, OG-07 y OG-15, que se diferencian cada una de tres localizaciones, con un índice R superior que 0,4 y $p=0,05$ o menor.

El mismo análisis llevado a cabo con la incidencia de *taxa* superiores detecta unos patrones determinados por la técnica de muestreo empleada, más que a esta distribución de las especies ligada a la distinción de las muestras por punto de muestreo.

En el *recorrido habitual* se observa un patrón espacial sutil, con determinados taxones recurrentes en las distintas localizaciones, principalmente OG-14 y OG-16. Se trata de dos charcos de tamaño medio, ya descritos, el primero permanente y con gran cantidad de sedimento y el segundo, temporal y con sedimento, pero más rocoso. En OG-14 aparece con frecuencia el isópodo *Stenasellus virei buchneri* y en OG-16 los sincáridos *Vejdovskybathynella edelweiss* y el otro que supone nuevo género y nueva especie. Principalmente, dichas especies son las que diferencian cada una de estas dos localizaciones entre las otras nueve analizadas aquí. La Granja de Ortiz, OG-14, que es el punto que tiene más integridad en comparación con las demás, lo que está regido además de por la abundancia y constancia en la aparición de *Stenasellus virei buchneri*, también por los registros en este punto de *Speocyclops infernus* y *Parastenocaris* sp., ambos copépodos típicamente subterráneos.

En la sala del Museo de Cera, OG-01, la constancia en la aparición del sincárido *Vejdovskybathynella edelweiss* es la responsable de su diferenciación, ya que es el único taxón que se repite en distintos muestreos. Al ser un lugar que pierde su volumen de agua con cierta rapidez, se piensa que el agua de recarga procede de una parte superior del epikarst, un ambiente que debe ser el idóneo para la vida de estos sincáridos batineláceos. En OG-01 se ha registrado la conductividad eléctrica media más elevada del *recorrido habitual*, sin embargo no tiene los valores absolutos mayores que OG-08 y OG-14. La conductividad es indicador de la concentración de los compuestos iónicos en disolución y entre los diez puntos de muestreo existen pocas diferencias. Las concentraciones de los distintos iones fluctúan en unos márgenes, en general con coeficientes de variación menores que 0,5 y aparentemente sin relación con la fauna u otras características de los hábitat.

En Gours de las Hojas hay dos lugares que se diferencian de otros puntos: OG-07, con una mayor presencia de *Potamocypris* sp.1 “*fulva*” y de *Candona neglecta*, ésta última estigófila y OG-15, donde destacan oligoquetos de la subfamilia Rhyacodrilinae. Las diferentes localizaciones de este sector de la Cueva no destacan por albergar una fauna subterránea única comparando con las otras nueve localizaciones. Sin embargo, cabe señalar que en Gours de las Hojas se localizan cuatro de los diez puntos, que están relativamente próximos y pueden recibir agua de los mismos orígenes, en mayor o menor medida, con lo que la composición química y faunística puede ser muy cercana. De hecho, este análisis de distribución de las especies no consigue diferenciar entre alguno de estos cuatro sitios, OG-07, OG-08, OG-10 u OG-15, así como ocurre en el análisis de la composición físico-química.

Por tanto, tras esta revisión de la fauna, podemos aventurarnos a señalar que se encuentran diferencias en la fauna presente entre lugares que distan al menos 100 metros; sin embargo, no hay diferencias en los puntos que se encuentran a una distancia menor de 10 metros.

La fauna estigobia, especialmente la de mayor tamaño, los isópodos, y la que tiene mayor capacidad de desplazamiento, los copépodos, encuentran un medio adecuado en los charcos que acumulan sedimentos en el fondo, donde deben encontrar más alimento y un hábitat suficientemente extenso (espacio intersticial en el seno del sedimento arenoso o lodoso). La fauna de menor tamaño y con una menor efectividad en la locomoción, oligoquetos, crustáceos sincáridos y ostrácodos, tienen una mayor presencia en *gours*, charcos someros o, al menos con poco sedimento o con todo el fondo calcificado, como OG-01, OG-09 y OG-16, donde están los sincáridos subterráneos o el único ostrácodo estigobio que aparece en este recorrido de la Cueva, *Pseudocandona* n. sp. 2. Esta fauna de menor tamaño puede tener una distribución más extensa que la observada en los muestreos, pero al caer en los charcos que albergan fauna de mayor tamaño, ésta puede alimentarse de las especies de menor envergadura. Además, se ha observado que la fauna de gran tamaño puede llegar a ser muy numerosa, como los isópodos estenasélidos de la Granja de Ortiz, OG-14, que tomando pequeñas muestras de la parte más somera del sedimento han aparecido en modo abundante. La fauna que es localmente numerosa y que procederá del epikarst, como los sincáridos de OG-01 y OG-16, debe poseer un hábitat establecido en el epikarst que estará limitado tanto por la composición físico-química del agua, así como por la morfología y distribución de los intersticios y la granulometría y la carga de sedimento que haya en ellos.

5.3.5.2. Análisis estadístico de la distribución de las especies en el *recorrido ocasional*

De forma análoga al procedimiento seguido con los datos del *recorrido habitual*, tomando los datos de presencia de especies del *recorrido ocasional*, se han analizado para detectar posibles diferencias con la distribución obtenida de los grupos taxonómicos superiores.

Se han colectado 44 muestras, de las que se han podido aislar e identificar 23 *taxa*. Sin embargo, en 19 muestras no se ha registrado fauna alguna, del total de 44 botes. Para los análisis se han utilizado los datos de las 25 muestras en que se ha observado la presencia de algún tipo de fauna.

5.3.5.2.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

Este conjunto de muestras es más reducido que en el *recorrido habitual* y se pueden analizar de modo independiente, obteniendo como resultado el agrupamiento de la figura 5.3.5.2.1.a Tiene cierta simplicidad, con cuatro agrupamientos, aunque carece de una

explicación sencilla, ya que en los tres agrupamientos mayores hay una mezcla de procedencias y tipos de hábitat.

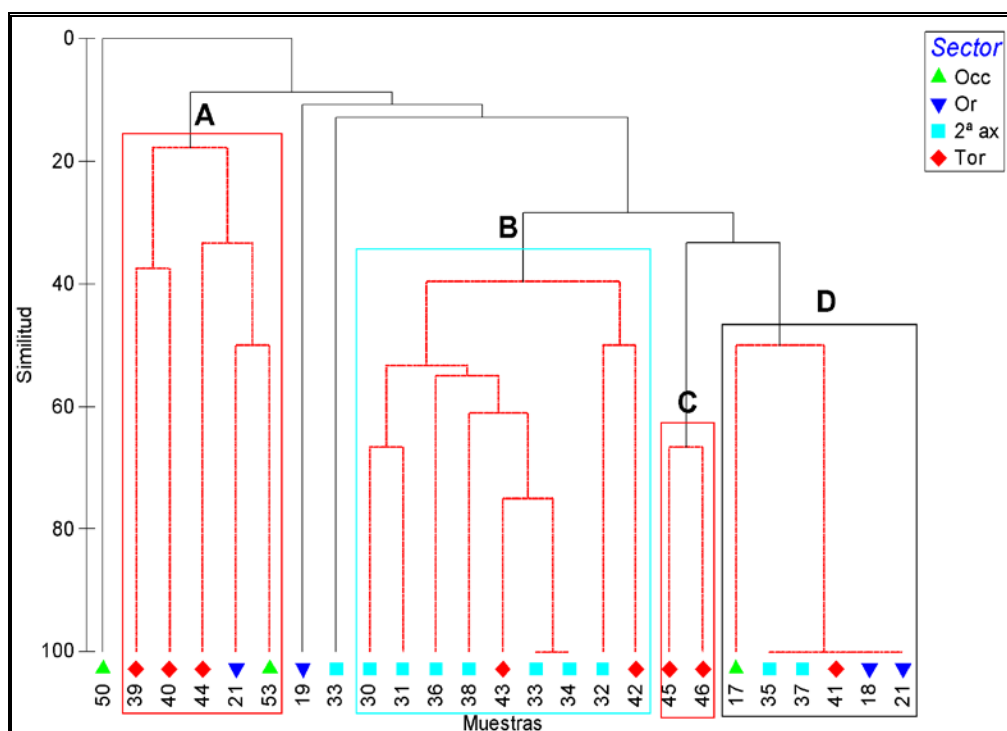


Figura 5.3.5.2.1.a. Agrupamiento de las muestras faunísticas del *recorrido ocasional* según el contenido en especies.

En el 90% de las muestras consideradas el tipo de muestreo aplicado es el de removido con manga, además de una muestra obtenida mediante el método de *kicking* y otra por el de Karaman; así que el tipo de muestreo no es un factor que facilite la interpretación de esta separación en cuatro grupos. A pesar de la escasez de taxones, cinco de ellos son crustáceos estigobios (*Parastenocaris* sp., *Pseudoniphargus burgensis*, *Stenasellus virei buchneri*, *Iberobathynella burgalensis* y *Vejdovskybathynella edelweiss*) y otro oligoqueto estigófilo (*Marionina* cf. *argentea*). Suman seis taxones subterráneos, una cuarta parte de los taxones identificados en este recorrido de la cueva.

Hay tres muestras que no aparecen agrupadas en esos conjuntos, que son: OG-19, la segunda muestra de OG-33 y OG-50. En ellas hay una predominancia de grupos que no son frecuentes en las demás. La localización OG-19 es el único lugar en el que se ha registrado el gasterópodo *Acylus fluviatilis*, entre todos los puntos del *recorrido ocasional*; tan sólo ha aparecido dicho gasterópodo en otras ocho muestras del *recorrido habitual* y siempre en presencia de otros grupos taxonómicos. En OG-33 resalta el turbelario Typhloplanidae indet., que no ha aparecido en otro punto de la Cavidad. En último lugar, OG-50 llama la atención

por ser el único emplazamiento del *recorrido ocasional* de Palomera en el que se ha colectado *Vejdovskybathynella edelweiss*.

El grupo A está formado por las cinco únicas muestras de este *recorrido* en las que ha aparecido el isópodo *Stenasellus virei buchneri*, uno de los cinco taxones estigobios detectados en este *recorrido*. Dichas localizaciones pertenecen a tres sectores distintos de la Cueva, Sector Oriental, Dédalo Oeste y Sector Resurgencia - La Torcona y en ellas hay dos tipos de hábitat, charco y lago. Esto indica que el isópodo está ampliamente distribuido por el complejo kárstico, con poblaciones que pueden ser localmente abundantes, como la de Granja de Ortiz en OG-14.

En el grupo B hay nueve muestras de la Segunda Axial y de La Torcona, entre las que dominan: los nematodos, que son frecuentes, el gasterópodo *Ancylus fluviatilis* (O.F. Müller, 1774) y anfípodos del género *Echinogammarus*, ambos epigeos, que casi están ausentes en el resto de las muestras. El predominio de taxones epigeos da idea de que el flujo de agua subterráneo transporta gran cantidad de fauna epigea desde los sumideros que hay al norte y noroeste de la cavidad principal, principalmente del río Guareña en su curso subterráneo, que inunda los niveles inferiores.

Las localizaciones OG-45 y OG-46 integran el grupo C. Son dos localizaciones próximas entre sí que albergan el anfípodo *Pseudoniphargus burgensis*, dos charcos del Sector Resurgencia con el fondo limoso que se sitúan cerca de la entrada de Villallana.

En el grupo D hay seis localizaciones de los cuatro sectores. Son seis muestras que tienen una gran escasez de fauna: sólo se aislaron nematodos en todas ellas, además del oligoqueto *Pristina* sp. en OG-17.

En este análisis no se cuenta con una serie temporal, con lo cual no se pueden hacer contrastes de cambios estacionales, como se ha realizado en el *recorrido habitual*.

5.3.5.2.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

La ordenación obtenida de las muestras del *recorrido ocasional* es la que representa la figura 5.3.5.2.2.a. Fuera de los márgenes de la gráfica plasmada existe una muestra, procedente de la localización OG-50, provocando una superposición de todas las demás, que aparecen en un mismo punto e imposibilita su diferenciación. Se ha comentado en el análisis de agrupamiento anterior que OG-50 difiere del resto de localizaciones, porque es la única del *recorrido ocasional* en la que se ha hallado el sincárido *Vejdovskybathynella edelweiss*. Está seleccionada el área en la que aparece la mayoría de las muestras y se ha ampliado a la escala en que el resto de las muestras quedan bien separadas. En la gráfica se observa una tendencia por la que las muestras de la Segunda Axial y de La Torcona se agregan desplazadas hacia la

parte derecha e izquierda, respectivamente, en la parte central de la gráfica. Las muestras del Dédalo Oeste y Sector Este, por el contrario, se distribuyen dispersas a un lado y otro de este núcleo formado por los dos agrupamientos centrales, o superponiéndose con alguna de ellas. La figura de dos dimensiones es muy representativa de la realidad multidimensional, según indica el índice de *stress*, con un valor de tan sólo 0,01.

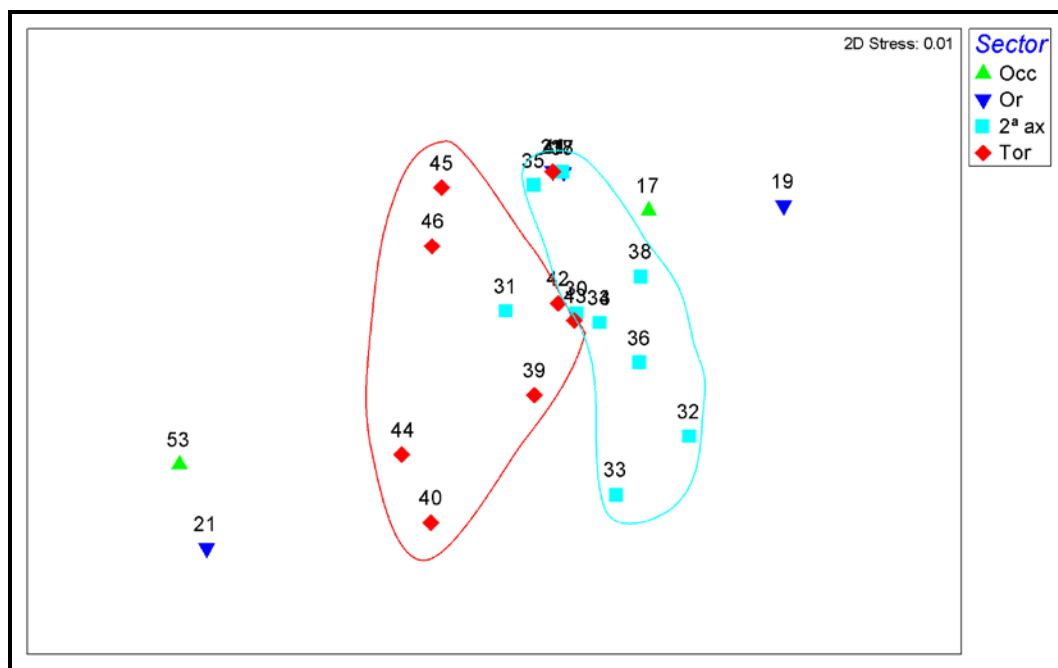


Figura 5.3.5.2.2.a. Ordenación no paramétrica de las muestras del *recorrido ocasional* de Ojo Guareña. Sectores de la Cavidad: Occ, Dédalo Oeste; Or, Sector Este; 2ª ax, Segunda Axial y Torcona.

Hay numerosas muestras que han ofrecido taxones muy escasos: ocho muestras con un sólo taxón identificado (OG-18, OG-19, OG-21-1, OG-21-2, OG-35, OG-37, OG-41 y OG-50) y cuatro con dos especies (OG-17, OG-30, OG-33-2 y OG-53). Sólo se repite con frecuencia la presencia de Nematoda y, en menor medida, de *Ancylus fluviatilis*. Hay varias muestras con tres y cuatro taxones, y sólo dos muestras que superan los cinco taxones, OG-40 y OG-39, con siete y ocho identificados respectivamente. Con esta situación es difícil obtener unos agrupamientos indicativos en este conjunto.

Los sectores Segunda Axial y Resurgencia-La Torcona son los que han mostrado una mayor riqueza de especies, especialmente el Sector Resurgencia, con ocho taxones en OG-39 y siete en OG-40. Son las dos ubicaciones más cercanas al curso subterráneo del río de las que se tomaron muestras. Se puede deber a una inundación más frecuente y prolongada añadido a un mayor contenido en sedimento; estos dos hechos deben aportar mayor cantidad de fauna con el flujo del agua, tanto fauna subterránea como exógena, además de proveer de mayor cantidad de alimento.

5.3.5.2.3. Análisis de similitud (ANOSIM)

A pesar de la distinción pobre entre grupos de muestras, se ha realizado el análisis de similitud con la finalidad de encontrar algún patrón que no se haya podido observar con los análisis anteriores de taxones en el *recorrido ocasional*. En este caso se obtiene una diferenciación clara entre las muestras de la Segunda Axial y el Sector Occidental (cuadro 5.3.5.2.3.a), con un $R=0,6$ y $p=0,01$. Las muestras del Sector Occidental se caracterizan por la presencia de pocos taxones, predominando la fauna de carácter subterráneo: el isópodo estigobio *Stenasellus*, las dos especies batineláceos *Iberobathynella* y *Vejdovskybathynella* y el oligoqueto troglófilo *Pristina jenkinsae*; las muestras de la Segunda Axial, por el contrario, tienen mayor diversidad: una planaria, moluscos, oligoquetos, hirudíneos, un copépodo parastenocárido y un anfípodo del género *Pseudoniphargus*.

Cuadro 5.3.5.2.3.a. Análisis de similitud con las incidencias de especies en las muestras del *recorrido habitual*.

Diferencias entre los SECTORES
R global: 0.277
Nivel de significación (p): 0.001

Análisis de pareados

Grupos	Estadístico R	Nivel de significación	Permutaciones posibles	Permutaciones realizadas
D.Oeste, Este	-0.111	0.657	35	35
D.Oeste, 2ª Axial	0.606	0.010	286	286
D.Oeste, Torcona	0.371	0.036	165	165
Este, 2ª Axial	0.341	0.052	1001	999
Este, Torcona	0.186	0.097	495	495
2ª Axial, Torcona	0.162	0.023	43758	999

El resto de sectores se diferencian con mayor dificultad: entre el Sector Occidental y La Torcona existe un índice $R=0,37$ y $p=0,036$ y entre el Sector Oriental y la Segunda Axial, $R=0,34$ y $p=0,05$. Los demás grupos tienen índices R menores que 0,2, lo que supone unas diferencias muy pequeñas, máxime teniendo en cuenta la escasez de fauna en algunos de estas localizaciones, según se ha indicado anteriormente.

5.3.5.3. Análisis estadístico de la distribución de las especies en el entorno

En el *entorno*, igual que en la cavidad principal, también se han realizado determinaciones a nivel de especie/subespecie, con lo que se analizan las poblaciones a este nivel de detalle taxonómico. Se analiza la distribución de los 132 taxa que han aparecido en las 66 muestras colectadas con registro faunístico, que aparecen en el apéndice 6.

5.3.5.3.1. Análisis de agrupamiento (*Cluster*, UPGMA)

El estudio de la distribución de las especies del *entorno* se ha comenzado con el análisis de agrupamiento, con el resultado que se ve en la figura 5.3.5.3.1.a. En ella se señalan los seis grupos que se han formado, A-F.

Para este análisis se cuenta con un total de 24 muestras de cueva, de las cuales hay 19 que aparecen en los grupos A, B y F. En ellos, las cuevas constituyen el único hábitat o suponen la gran mayoría de las muestras que lo forman: en el grupo A, tres de las cuatro muestras, 75%, son cuevas; en el grupo B, 11 de 17 muestras, el 65% y en el grupo F, las cinco muestras que lo constituyen, el 100%, son cuevas. Hay otras cinco muestras de cueva fuera de estos tres grupos, tres atípicas que no se agrupan con el resto y otras dos que están incluidas en el grupo D.

El grupo C lo integran tres muestras del medio hiporréico del río Trema-1 y -3 y Arroyo de la Hoz. El grupo E está constituido únicamente por dos muestras, una de surgencia y otra de medio hiporréico profundo. Por último, al contrario que los conjuntos de tamaño medio, el grupo D, que es el de mayor tamaño de los seis, es una mezcla equilibrada de muestras de hiporreos (siete muestras, 27% de las muestras del grupo), freático superficial (siete muestras, 27%) y de surgencias (nueve muestras, 34%), además de dos cuevas (8%) y una de medio freático profundo (4%).

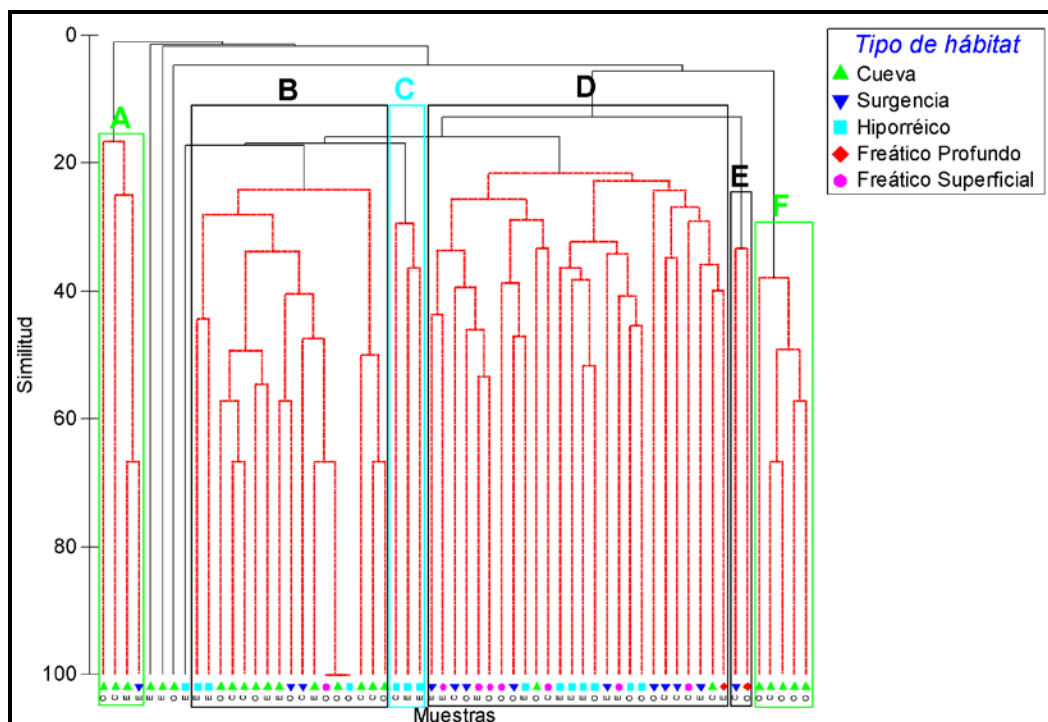


Figura 5.3.5.3.1.a. Análisis de agrupamiento de las muestras faunísticas del *entorno*, según las especies que albergaban. Junto a cada muestra se indica la posición geográfica de la localización: O, oeste; C, centro y E, este.

Por tanto, las cuevas se diferencian en gran medida del resto de los ambientes, aunque también hay distinción entre las propias cuevas, puesto que forman parte de varios grupos con una identidad propia.

Entre las muestras de cueva se puede señalar la exclusividad de algunos taxones, entre los que se encuentran las siguientes especies subterráneas: *Pseudocandona* n. sp.2, *Speocyclops spelaeus*, *Bryocamptus (Rheocamptus) pyrenaicus*. La muestra de hiporréico que está incluida en este grupo D, del punto 1 del río Trema, posee cuatro taxones registrados y tiene en común con las cuevas la baja incidencia de *taxa*, una media de 3,8 por muestra, y la presencia de *Iberobathynella cornejoensis*, que se ha aislado exclusivamente de dos lugares del entorno, cueva Redonda y cueva La Mina, además del río Trema-1.

Por otra parte, hay otros *taxa* que son frecuentes en surgencias, medio hiporréico y freático, pero no se han obtenido de las cuevas. Así ha ocurrido con dos especies del género *Paracamptus* Chappuis, 1929, varias especies del género *Bryocamptus*, *Tropocyclops prasinus*, varias especies del género *Diacyclops* y *Paracyclops imminutus* (Kiefer, 1929).

No se obtiene una distribución de las muestras en la que se separen claramente por un único criterio. Por tanto, se ha intentado clarificar mediante la adición de los resultados en varias muestras, según distintas variables descritas en los análisis precedentes. El resultado que mejor resuelve el análisis se obtiene utilizando una matriz en la que las variables son las especies y las muestras se suman por naturaleza de hábitat y por su situación geográfica en el complejo kárstico. La asignación de la situación geográfica se realiza considerando tres franjas, limitadas por los cursos de los principales ríos que alimentan el karst: “oeste”, al oeste del ‘ojo’ del río Guareña, “centro”, entre los sumideros del río Guareña y del río Trema y “este”, en la parte oriental de éste último. El análisis resulta según se plasma en la figura 5.3.5.3.1.a, pudiéndose señalar lo siguiente:

- En el grupo A se incluyen las cuevas del centro y oeste del complejo. Destacan por la presencia de unas pocas especies de crustáceos: *Diacyclops bisetosus*, *Speocyclops spelaeus*, *Bryocamptus (Rheocamptus) pyrenaicus* y *Steansellus virei buchneri*, que en el resto de medios son infrecuentes.
- El grupo B lo forman las surgencias, también de las partes central y occidental del complejo. Además de la incidencia relativamente alta de dos crustáceos, el ostrácodo *Cypria* sp. y el copépodo *Eucyclops serrulatus*, también destaca el molusco *Limnaea truncatula* (O.F. Müller, 1774), exclusivo de las surgencias.
- El grupo C es más diverso, con la representación de las surgencias de la parte oriental y de los extremos oriental y occidental, el medio hiporréico y el freático superficial. En ellos abundan el oligoqueto *Marionina argentea* y los copépodos *Bryocamptus (Rheocamptus) zschokkei* que no aparece en otras muestras y *Paracamptus schmeili*. Las

surgencias de la fracción oriental, que se unen en este grupo, tienen una gran variedad de especies de copépodos, once especies distintas.

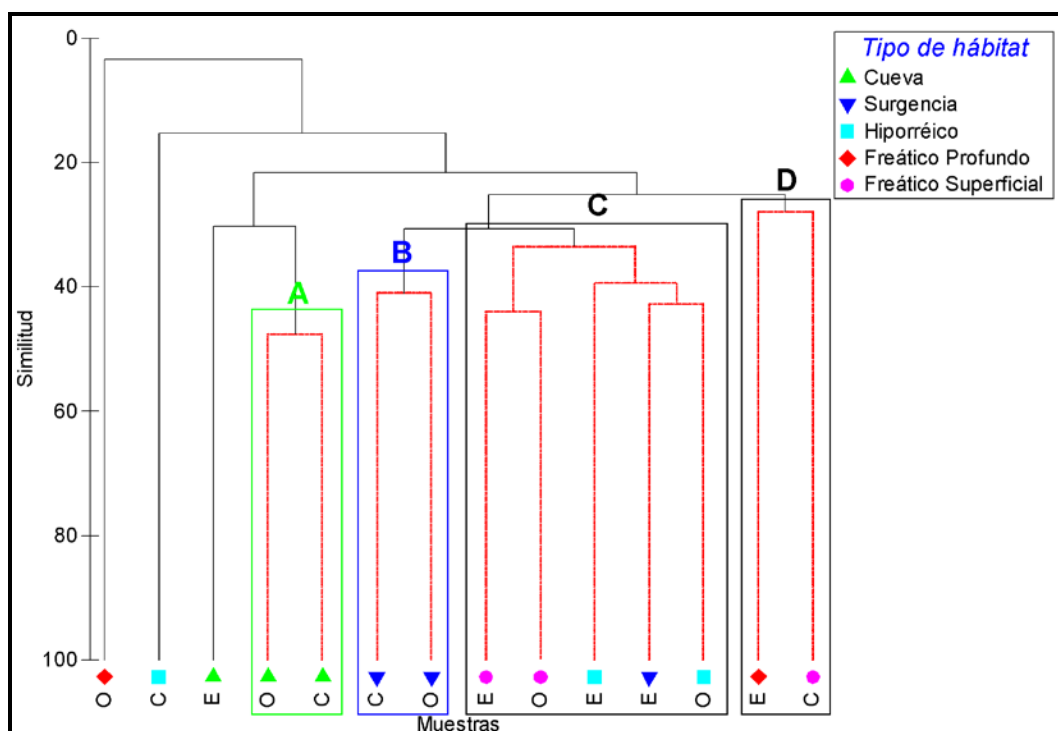


Figura 5.3.5.3.1.a. Análisis de agrupamiento de las muestras faunísticas del *entorno*, según las especies que albergaban. Muestras agrupadas por naturaleza del hábitat y situación. Junto a cada muestra se indica la posición geográfica de la localización: O, oeste; C, centro y E, este.

- En el medio freático superficial de la parte central y el freático profundo de la parte oriental, que constituyen el grupo D, hay una incidencia baja y similar de diferentes grupos faunísticos: nemátodos, oligoquetos, crustáceos, tardígrados, etc. No destaca grupo faunístico alguno, como ocurre en los otros casos.
- El medio freático profundo de la parte occidental y el freático superficial del centro del karst no aparecen agrupados, cuentan con una fauna registrada muy escasa, con dos y seis especies respectivamente; las cuevas de la parte oriental tienen la peculiaridad de una ausencia total de oligoquetos, que habitualmente tienen una presencia importante. Los oligoquetos están ausentes sólo de las cuevas de la franja oriental y del freático profundo en la franja occidental.

En este caso se repite la diferenciación de las cuevas, que contienen una fauna poco abundante, pero especializada, debido a su heterogeneidad de emplazamientos, que son a su vez distintos y selectivos. Resulta novedosa la separación de las surgencias de la parte central

y occidental, que también ha presentado especies de modo exclusivo, aunque ninguna de las exclusivas es estigobia, sólo tres estigófilas y el resto estigoxenas, lo que indica un contacto más directo y un intercambio mayor de las surgencias con el medio epigeo que en el caso de las cuevas. Lo mismo ocurre con el freático superficial y el hiporréico, con una proporción elevada de especies estigófilas y estigoxenas.

Entre las cuevas, la mayor diversidad relativa de especies comparando con los otros ambientes, corresponde a los moluscos, los crustáceos ostrácodos, crustáceos copépodos, crustáceos isópodos, crustáceos batinláceos y a los tardígrados.

Las surgencias tienen mayor cantidad de especies que las cuevas, en general, aunque destacan los oligoquetos con 23 taxones, casi cuatro veces más que en las cuevas, con ocho. La mayoría de los oligoquetos son estigófilos o estigoxenos; su abundancia da idea de la conexión que existe entre las surgencias y el medio exterior, a diferencia de las cavidades, que están más aisladas. Los oligoquetos, los crustáceos ostrácodos y los crustáceos copépodos tienen una presencia de especies que evoluciona de forma paralela en los distintos hábitat.

5.3.5.3.2. Ordenación no paramétrica multidimensional (NMDS)

Se han utilizado las 62 muestras independientes para realizar la ordenación multidimensional. La mayoría de las muestras aparecían agregadas en un punto concreto de la gráfica, por lo que se ha decidido aproximar esa área del gráfico, quedando tres muestras de cueva y una de surgencia fuera de los márgenes de la figura 5.3.5.3.2.a. A pesar de existir solapamientos y dispersión de las muestras, se observa una tendencia que se señala en el gráfico: existe una cierta organización de las muestras según su procedencia, por el tipo de hábitat en el que fueron colectadas, figura 5.3.5.3.2.a. La representación tiene una deformación aceptable en la representación en dos dimensiones, con un índice de stress de 0,12. Las muestras de cueva se concentran principalmente en la parte inferior derecha, representadas en verde; las del medio hiporréico hacia la parte superior izquierda, en azul claro, y las surgencias y el medio freático, hacia la parte inferior izquierda, en azul marino y rojo/rosa. En la disposición de las muestras, también se puede observar que las procedentes de la franja este del complejo se concentran en la izquierda de la gráfica y las que se tomaron en el oeste quedan más desplazadas hacia la derecha del recuadro.

Una de las causas de la mala diferenciación de los grupos es la escasez de fauna en gran parte de las muestras. Para conseguir unos agrupamientos más definidos, igual que en casos anteriores, se ha sumado la presencia de las especies, según pertenecen las muestras a un ambiente o una localización geográfica, que parecen ser los factores más determinantes. Con la nueva matriz de datos estandarizada, y obtenidas las distancias por el método de Bray-Curtis, la ordenación resultante es la que muestra la figura 5.3.5.3.2.b. De este modo se consigue una mayor diferenciación entre los hábitat en cuanto a su composición faunística.

Las cuevas y el medio freático profundo están más separados del resto, mientras que las surgencias, el hiporreos y el freático superficial aparecen muy próximos. No llegan a solapar, pero denotan una mayor semejanza en cuanto a las especies que cobijan.

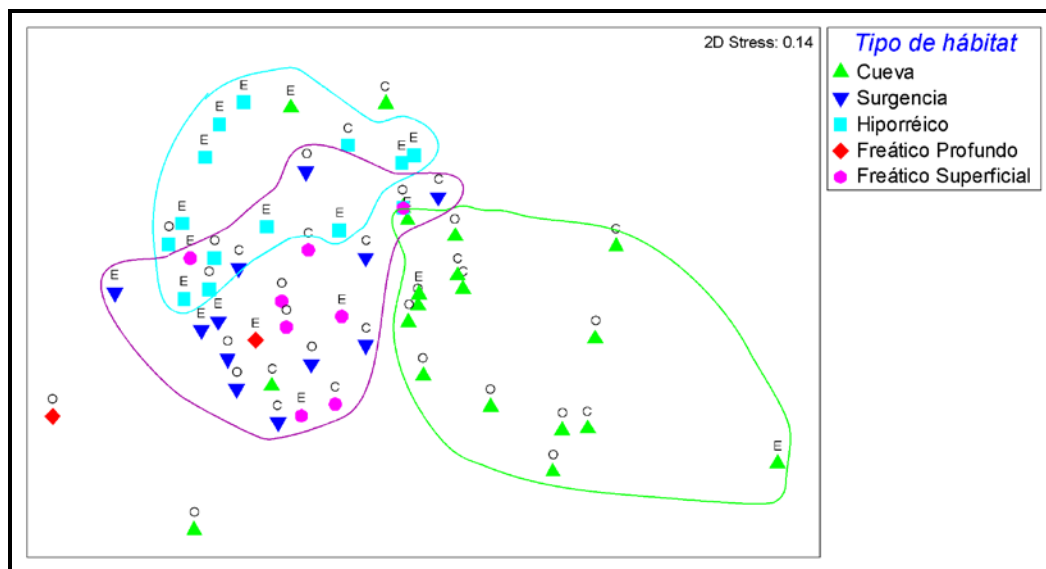


Figura 5.3.5.3.2.a. Ordenación multidimensional no paramétrica de las muestras del *entorno* según las especies que se detectaron en cada una de ellas. Asociado a las muestras aparece anotada su localización geográfica en el complejo: O, oeste; C, centro y E, este.

Como ya se comentó anteriormente, la fauna que determina la distinción de las cuevas son unas especies con mayor presencia, o que se presenta de modo exclusivo en este hábitat: *Zospeum* sp., *Diacyclops bisetosus*, *Speocyclops spelaeus*, *Bryocamptus* (R.) *pyrenaicus*, *Stenasellus virei buchneri* y *Vejdovskybathynella edelweiss*. Las dos muestras de pozo tienen en común dos especies de copépodos, una nueva especie para la ciencia que aún no se ha descrito, *Diacyclops* n. sp.2 del grupo *languidoides* y *Tropocyclops prasinus*.

En surgencias, medio hiporréico y freático superficial aparece una fauna de la que carecen las cuevas y el freático profundo: hay gasterópodos del género *Pisidium*, múltiples oligoquetos, entre ellos *Achaeta*, *Aulodrilus* Bretscher, 1899, varias especies de *Cernosvitoviella*, *Cognettia*, *Henlea*, *Tubifex* y *Nais* Müller, 1774. En el medio hiporréico varios géneros y especies de ácaros hidracnélicos, *Torrenticola* Piersig, 1896, *Frontipodopsis* Walter, 1919, *Protzia* Piersig, 1896, un nuevo género, *Axonopsis*, *Kongsbergia* y *Neoacarus* Halbert, 1944. Cladóceros, sólo en surgencias y medio hiporréico, numerosos ostrácodos y copépodos ciclópodos, anfípodos del género *Echinogammarus* y varios géneros de tardígrados. Entre ellos hay numerosas especies que son estigoxenas y generalistas.

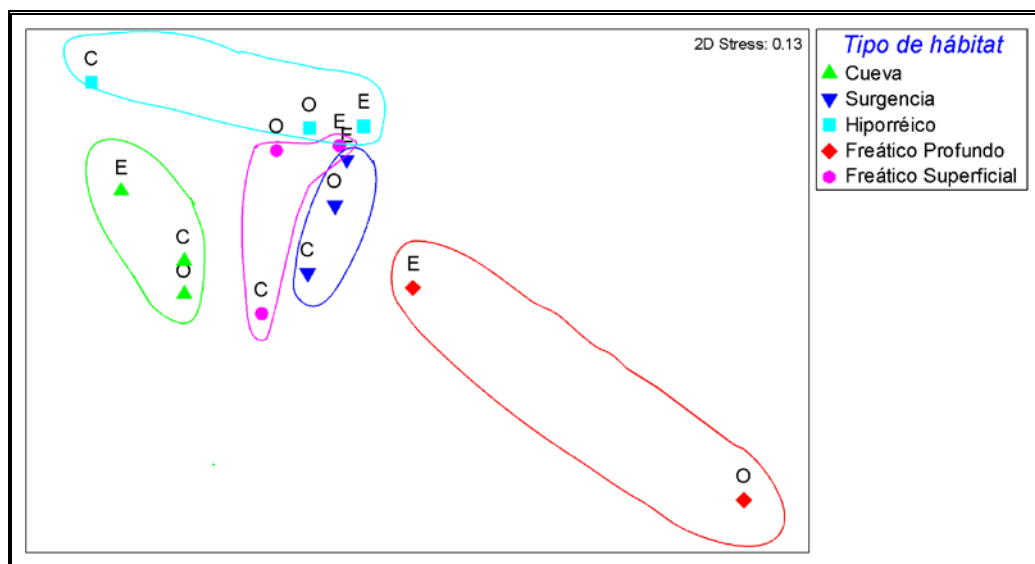


Figura 5.3.5.3.2.b. Ordenación multidimensional no paramétrica de los hábitat del *entorno*. Muestras agregadas por tipo de hábitat y localización en el complejo. Junto a cada elemento se indica su localización en el complejo: O, oeste; C, centro y E, este.

5.3.5.3.3. Análisis de similitud (ANOSIM)

El análisis de similitud permite analizar todas las muestras independientes y ofrece una lectura sencilla, ya que en el propio análisis se forman grupos para compararlos de dos en dos. Se han comparado las localizaciones geográficas, norte-centro-sur y este-centro-oeste y los ambientes, según su naturaleza. El análisis según el tipo de ambiente es el factor que distingue mejor entre los grupos. En el cuadro 5.3.5.3.3.a se resume su resultado, donde se observa que el índice R global, de todos los pares, es 0,29, lo cual indica que hay pequeñas diferencias entre los grupos que merecen ser analizadas, ya que el índice de significación es elevado, $p=0,01$.

Cuadro 5.3.5.3.3.a. Análisis de similitud entre los grupos de muestras según el hábitat en que se obtuvieron las mismas, considerando la presencia de los taxones inferiores.

Diferencias entre los grupos de TIPO DE HÁBITAT				
R global: 0.294				
Nivel de significación: 0.1%				
Análisis de pareados				
Pares de grupos	Estadístico R	Nivel (%) de significación	Permutaciones posibles	Permutaciones realizadas
Cueva, Surgencia	0.409	0.2	352716	999
Cueva, Hiporréico	0.330	0.1	352716	999
Cueva, Freát-Pozo	0.373	1.3	78	78
Cueva, Freát-Río	0.288	2.6	78	78
Surgencia, Hiporréico	0.167	0.8	352716	999
Surgencia, Freát-Pozo	0.131	25.6	78	78
Surgencia, Freát-Río	0.444	5.1	78	78
Hiporréico, Freát-Pozo	0.164	24.2	66	66
Hiporréico, Freát-Río	-0.092	57.6	66	66
Freát-Pozo, Freát-Río	0.125	33.3	3	3

En el cuadro se destacan en negrita aquellos pares que tienen un índice R mayor que 0,3. Las mayores diferencias se encuentran entre las muestras de surgencias y de freático superficial asociado a los ríos, $R=0,44$ y $p=0,05$. A continuación, las muestras de cuevas con otros medios: cuevas con surgencias, $R=0,41$ y $p=0,02$, cuevas con freático obtenido en pozos, $R=0,37$ y $p=0,01$ y cuevas con el medio hiporréico, $R=0,33$ y $p=0,001$.

Por tanto, el resultado de este análisis redunda en la diferenciación de las muestras de las cuevas, que tienen mayor similitud entre ellas que con las muestras de otros ambientes (surgencias, pozos y medio hiporréico). Esta diferencia en diversidad se compara a continuación, mediante los índices de Shanon-Wiener y de Jackknife.

El hábitat de cueva es el único con especies estigobias exclusivas que aparecen en más de tres localizaciones: dos copépodos, *Speocyclops spelaeus* y de *Bryocamptus* (*R.*) *pyrenaicus*. También abunda en las cuevas el isópodo estigobio *Stenasellus virei buchneri*, que sólo se encuentra en alguna surgencia. Éstas son algunas de las especies que determinan la diferenciación de las cuevas por su fauna, cuadro 5.3.5.3.3.b. Hay, sin embargo, otras especies que son más eurióicas, como *Marionina argentea*, que se ha aislado en numerosas muestras, en los cuatro medios, *Attheyella* (*A.*) *crassa*, que se ha encontrado en varias muestras de hiporréico y de surgencias, así como alguna de freático y de cuevas, y *Bryocamptus* (*R.*) *zschokkei*, que ha sido común en medio hiporréico y freático, además de aparecer también en alguna surgencia.

Entre las especies que son típicamente más abundantes en los cuatro ambientes (Cuadro 5.3.5.3.3.b), se ve que hay dos moluscos gasterópodos (*Zospeum* sp. y *Ancylus fluviatilis*), el oligoqueto *Marionina argentea*, 14 especies de crustáceos (12 copépodos, el ostrácodo *Cypria* sp. y el isópodo *Stenasellus virei buchneri*) y el tardígrado *Dactylobiotus parthenogeneticus*.

Otro hecho que apoya la hipótesis de la diferenciación de las cuevas respecto de los otros ámbitos es el de las especies más habituales. Las cuevas albergan cinco especies afines, de las cuales ninguna es frecuente en los otros tres tipos de medio y dos de ellas se sabe que son estigobias: el copépodo *Speocyclops spelaeus* y el isópodo *Stenasellus virei buchneri*. De las cinco especies comunes en las cuevas, tres de ellas se han detectado en numerosas muestras del *recorrido habitual* en varias localizaciones, aunque *Speocyclops spelaeus* y *Bryocamptus* (*Rheocamptus*) *pyrenaicus* no se hayan encontrado en la cavidad principal. Entre la fauna frecuente en las cuevas se encuentran los de mayor tamaño encontrados de moluscos, *Zospeum* sp., y crustáceos, *Stenasellus virei buchneri*, que encontrarán un hábitat más idóneo, o accesible en el caso del molusco y donde el isópodo estigobio stenasélido encontrará menos competencia en contextos con mayor afluencia de fauna estigoxena, medio hiporréico y surgencias, por su proximidad y contacto con el exterior.

Cuadro 5.3.5.3.3.b. Géneros y especies que han aparecido en más de 3 lugares de muestreo en un tipo de hábitat. En azul celeste crustáceos copépodos y en azul marino el resto de los crustáceos (ostrácodos e isópodos).

<p>CUEVAS</p> <p><i>Zospeum</i> sp. <i>Diacyclops bisetosus</i> <i>Speocyclops spelaeus</i> <i>Bryocamptus (Rheocamptus) pyrenaicus</i> <i>Stenasellus virei buchneri</i></p>	<p>SURGENCIAS</p> <p>* <i>Marionina argentea</i> <i>Cypria</i> sp. <i>Eucyclops serrulatus</i> <i>Tropocyclops prasinus</i> - <i>Attheyella (Attheyella) crassa</i> <i>Bryocamptus (Limocamptus) echinatus</i></p>
<p>HIPORRÉICO</p> <p><i>Ancylus fluviatilis</i> * <i>Marionina argentea</i> <i>Paracyclops imminutus</i> - <i>Attheyella (Attheyella) crassa</i> <i>Bryocamptus (Bryocamptus) minutus</i> ➤ <i>Bryocamptus (Rheocamptus) zschokkei</i> <i>Paracamptus schmeili</i> <i>Dactylobiotus parthenogeneticus</i></p>	<p>FREÁTICO</p> <p>* <i>Marionina argentea</i> <i>Diacyclops</i> gr. <i>languidoides</i> sp.2 ➤ <i>Bryocamptus (Rheocamptus) zschokkei</i></p>

Por otro lado, en surgencias, hiporréico y freático, hay tres especies que son habituales en más de uno de estos hábitat. Por ejemplo, *Marionina argentea* aparece frecuentemente en los tres. También aparece en cuevas, pero únicamente en dos muestras procedentes del Sumidero del Arroyo San Miguel y de Cueva Racino. Asimismo hay dos especies frecuentes de los géneros *Attheyella* y *Bryocamptus*, crustáceos copépodos, que comparten algunos de estos tres ambientes, de los que no se ha detectado ni un solo ejemplar en Palomera. En estos tres hábitat los espacios abiertos son de menor tamaño y la fauna es de cuerpo más reducido, como los cinco copépodos harpacticoides de surgencias y medio hiporréico: *Attheyella (Attheyella) crassa*, *Bryocamptus (Limocamptus) echinatus* (Mrázek, 1893), *Bryocamptus (Bryocamptus) minutus*, *Bryocamptus (Rheocamptus) zschokkei* y *Paracamptus schmeili*.

La escasez de especies frecuentes entre tan elevado número de muestras puede ser consecuencia del alto grado de endemismo de la fauna estigobia y de la distribución en parches pequeños y dispersos, que derivan en unas poblaciones muy fragmentadas. Sólo hay 18 especies (cuadro 5.3.5.3.3.b), entre los 136 taxones identificados en el *entorno*, que se han detectado en más de tres muestras y en una clase de hábitat. Para encontrar unos patrones más completos y más fieles a la realidad, habría que prolongar los muestreos, tomando réplicas en todos los puntos del *entorno*, procurando intercalar otros lugares de estudio entre el núcleo principal y los puntos más alejados para disminuir la distancia espacial entre los sondeos.

El grupo faunístico dominante en el conjunto de las muestras de los cuatro hábitat del *entorno* es el de los crustáceos copépodos, como puede verse en el cuadro 5.3.5.3.3.b. Entre los copépodos aislados se ha detectado la presencia de, al menos, 28 especies distintas en el *entorno*, 8 de ellas estigobias, seguido de los oligoquetos, también con 28 especies identificadas, entre las que se sabe que hay un estigobio y cinco estigófilos.

5.3.6. Descripción de las poblaciones. Abundancia relativa

En el Monumento Natural existen numerosas especies de aparición rara, que podrían estar muy especializadas en algún recurso -estenóicas- por sometimiento a una gran competencia con otras especies, de mayor tamaño, o más competitivas, con la posibilidad de diezmar sus efectivos poblacionales. Esto también puede ocurrir por otros acontecimientos acaecidos, como podrían ser procesos infecciosos, depredación, sequías o inundaciones repetidas o prolongadas que alteran el ambiente normal. A su vez, hay otras especies que aparecen en varias muestras que se pueden considerar generalistas.

Del mismo modo, hay algunos hábitat que presentan una especial riqueza de especies de modo continuo, mientras que otros registran fluctuación en el número de las especies encontradas a lo largo del tiempo y algunos no contaban con especie alguna o su fauna era escasa.

5.3.6.1. Poblaciones del *recorrido habitual*

Las poblaciones estudiadas del *recorrido habitual* son muy heterogéneas y destacan algunos hechos como los 18 taxones hallados en las tres únicas muestras de OG-02, mientras que en OG-09, en 28 muestras sólo se han encontrado 15 especies. También, la distribución de ciertos grupos, como los sincáridos batineláceos, que se concentran casi de forma exclusiva en tres localizaciones (OG-01, OG-09 y OG-16), o la distribución de los oligoquetos, que son escasos en OG-09 y OG-12, a pesar de su gran abundancia en el resto de las muestras.

El mayor número de especies se ha detectado en OG-10: en las 17 muestras colectadas de este hábitat se ha detectado la presencia de un mínimo de 30 especies, a pesar de que en dos ocasiones no se colectó taxón alguno, mayo y junio de 2003, y en otras dos muestras se detectó un único taxón, en octubre de 2002 y en abril de 2004. Las siguientes localizaciones que siguen a OG-10, por orden de abundancia de especies son: OG-08, 22 especies, OG-14, 20 especies, OG-07, 19 especies y OG-02, 18 especies. Esto en cuanto a las especies totales.

Atendiendo a los grupos faunísticos, algunos han tenido una presencia escasa en el conjunto de las muestras: los cladóceros se aislaron sólo de cuatro muestras procedentes de tres puntos de la Cavidad: OG-02, OG-08 y OG-10. De modo similar, los copépodos harpacticoides se encontraron en cuatro muestras tomadas en tres localizaciones: OG-10, OG-14 y OG-38. Se detectaron turbelarios en cinco puntos: OG-08, OG-14, OG-15, OG-33 y en el lago de la Sima

Dolencias. Los anfípodos no se recolectaron en charcos del *recorrido habitual*, sólo en las del nivel inferior de la Cueva (a partir de la Sima Dolencias, camino del sifón terminal del Sector Resurgencia) y en el propio Sector Resurgencia (entrada Villallana). Las tres especies de sincáridos se han separado de varias muestras (18), procedentes de seis puntos de muestreo y la mayoría de los individuos procedían de OG-01 y OG-09. Los tardígrados han sido muy escasos, con sólo seis individuos pertenecientes a cuatro especies que aparecieron en muestras de cuatro localizaciones del *recorrido habitual* (OG-08, OG-09 OG-10 y OG-16).

Contrariamente a esta fauna escasa, otros grupos han sido mucho más numerosos en la cueva, destacando: nematodos, oligoquetos, copépodos ciclopoideos e isópodos. Los oligoquetos, presentes en todos los puntos de muestreo habitual y en la Torcona, con al menos 27 especies, representan casi un tercio de las especies identificadas. Nematodos y copépodos ciclopoideos estaban presentes en la mayoría de los puntos del *recorrido habitual* y en la Torcona. Por último, los isópodos se recolectaron en diferentes puntos del *recorrido habitual*, en el Sector Resurgencia y en los niveles inferiores de la Cavidad.

En cuanto a la cantidad de taxones subterráneos totales, todos los que aparecen en la cavidad principal están presentes en el *recorrido habitual*, a excepción de un anfípodo, *Pseudoniphargus burgensis*, y dos sincáridos, *Iberobathynella burgalensis* y *Vejdovskybathynella* n.sp.1. Hay un mínimo de 42 especies subterráneas *s.l.* diferentes: 21 estigobias y 21 estigófilas.

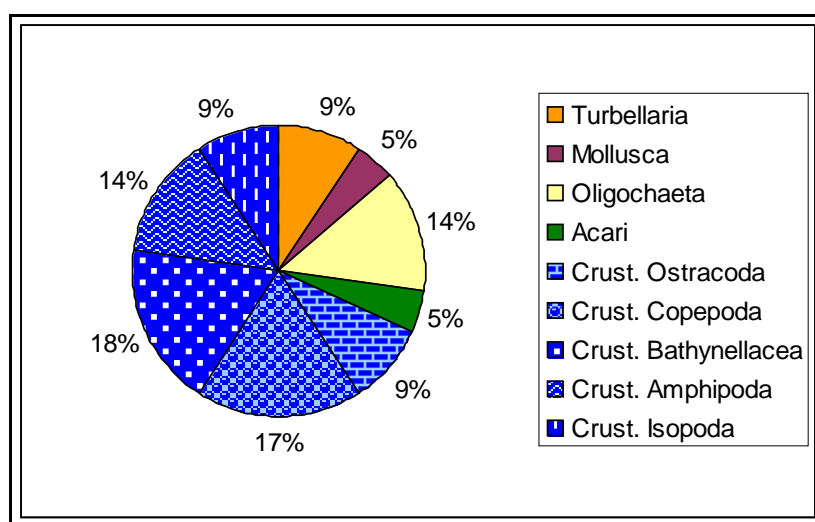


Figura 5.3.6.1.a. Distribución de especies estigobias en los distintos grupos faunísticos de la cavidad principal.

El grupo más numeroso de taxones subterráneos estrictos es el de los crustáceos, que incluye 14 de los 21 subterráneos estrictos, un 67% del total de subterráneos estrictos -figura 5.3.6.1.a, patrones azules-: dos ostrácodos -*Pseudocandona* n. sp.2 y Candoninae n. sp.5-, cuatro

copépodos -*Acanthocyclops* n. sp. 1, *Graeteriella* (G.) *unisetigera*, *Speocyclops infernus* y *Parastenocaris* sp.-, cinco batineláceos -*Iberobathynella guarenensis*, *Iberobathynella burgalensis*, *Vejdovskybathynella edelweiss* n.sp., *Vejdovskybathynella* n.sp.1 y Bathynellidae n.gen. n.sp.1-, un anfípodo -*Pseudoniphargus burgensis*- y dos isópodos -*Stenasellus virei buchneri* y *Cantabroniscus primitivus*-.

Los crustáceos subterráneos, estigobios y estigófilos, suman el 62% de las especies subterráneas de la cueva Palomera. Se pueden ver las diferencias en estigobios y subterráneos totales comparando las dos gráficas: figuras 5.3.6.1.a y 5.3.6.1.b. Como se puede intuir a la vista de éstas, los grupos que más estigófilos han aportado entre los crustáceos son ostrácodos y copépodos. En el conjunto de la fauna son los oligoquetos, que incrementan su área en la segunda gráfica con siete especies estigófilas identificadas, en detrimento de otros grupos faunísticos que disminuyen proporcionalmente.

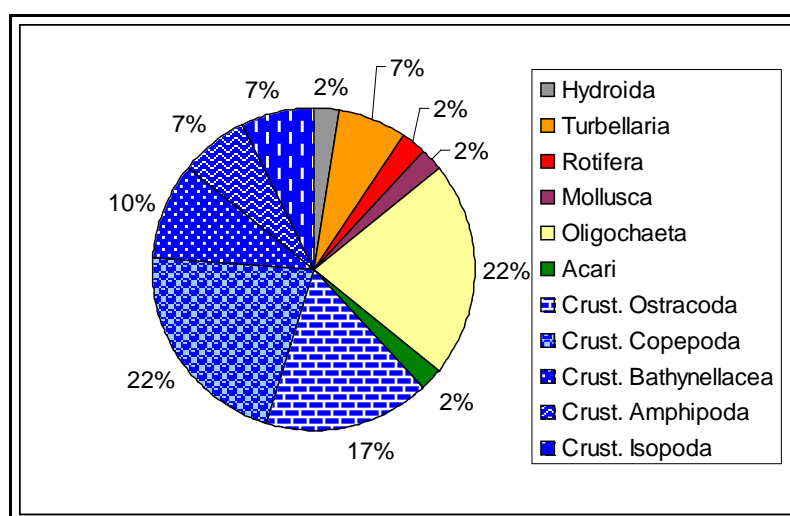


Figura 5.3.6.1.b. Distribución especies subterráneas totales (estigobias + estigófilas) en los distintos grupos faunísticos de Palomera.

El emplazamiento en el que se han encontrado más grupos faunísticos es el de la Granja de Ortiz, OG-14, de cuyas muestras se aislaron ejemplares pertenecientes a 13 grupos. Lo siguen OG-08, OG-09 y OG10, con 11 grupos registrados. A continuación se encuentra OG-15, con 10 grupos. Y aquel en el que menos grupos se encontraron durante la revisión de sus muestras es OG-01, con 5 grupos taxonómicos (tabla 5.3.6.1.a).

En las ubicaciones de muestreo habitual se ha aislado un total de 1.950 individuos pertenecientes a los 15 grupos faunísticos que aparecen en la tabla 5.3.6.1.b, cuyos datos se han extraído de los apéndices 3 y 4. De los 15 grupos faunísticos, siete de ellos pertenecen a los

crustáceos (Ostracoda, Copepoda Cyclopoida, Copepoda Harpacticoida, Amphipoda, Isopoda, Syncarida Bathynellacea y Cladocera). Como se puede observar el grupo predominante es el de crustáceos, que representa más de la mitad (63,8%) de la fauna aislada de estas muestras (1.244 individuos del total de 1.951). Sólo los copépodos ciclopoides representan más de un 26% de la fauna aislada, lo que pone de manifiesto su abundancia.

Tabla 5.3.6.1.a. Grupos taxonómicos colectados en el *recorrido habitual*.

Punto	Hydroida	Turbellaria	Nematoda	Mol.Gastropoda	Mol.Bivalvia	Oligochaeta	Hydrachnellae	Limnolhalacaridae	Ostracoda	Cop.Cyclopoida	Cop.Harpacticoida	Isopoda	Bathynellacea	Cladocera	Tasardigrada	Total grupos de fauna
1						X			X	X	X		X			5
2			X	X		X			X	X	X	X		X		8
7			X	X	X	X	X		X	X	X	X				9
8		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		11
9			X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		11
10	X		X			X	X	X	X	X	X	X		X	X	11
12			X	X		X		X	X	X	X	X				8
14		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	13
15		X	X	X	X	X		X	X	X	X		X			10
16		X	X			X			X	X	X		X		X	8

De los diez puntos de muestreo considerados en este apartado, en todos se da una dominancia de los crustáceos excepto en uno, en OG-15 (Gours de las Hojas), donde no alcanzan la tercera parte de la población aislada de las seis muestras: 52 crustáceos del total de 172 individuos separados. En todos los demás lugares de muestreo, la proporción de crustáceos supera el 50% de los ejemplares aislados. En el extremo opuesto se encuentra OG-01, en el cual se tomaron tres muestras y de las cuales se han aislado todos los individuos detectados, 106 en total: 101 de estos 106 individuos (más del 95%) son crustáceos; concretamente, 97 individuos pertenecen a una única especie (91,5% del total de la fauna) de Syncarida Bathynellidae: *Vejdovskybathynella edelweiss*. Además de los crustáceos, también destacan por su abundancia los oligoquetos (400 del total de 1.952 individuos aislados, un 20%) y los nematodos (208 individuos del total, un 10,5%).

Tabla 5.3.6.1.b. Número de individuos aislados de los principales grupos faunísticos en los diferentes puntos del *recorrido habitual* de Ojo Guareña.

Grupo faunístico \ Punto	1	2	7	8	9	10	12	14	15	16	Total
Hydroida						1					1
Turbellaria				2				3	1	1	7
Nematoda		7	17	34	2	51	8	36	51	2	208
Moll. Gastropoda		5	2	5	18		2	35	3		60
Moll. Bivalvia			1	1	1			4	1		8
Oligochaeta	6	20	33	65	24	90	17	78	63	3	400
Hydracarina			1	4	1	6	1	3	1		17
Ostracoda	1	4	40	11	17	47	17	38	17	1	192
Copep. Cyclopoida	2	34	63	70	62	94	106	43	31	8	513
Copep. Harpacticoida	1	5	10	38	9	81	5	66	3	6	224
Amphipoda											
Isopoda		3	4		2	3	22	117			151
Bathynellacea	97				25			1	1	33	157
Cladocera		2		3	1	1					7
TOTAL Crustacea	100	48	117	122	125	226	150	265	52	48	1.244
Tardigrada							4		1	1	6
TOTAL FAUNA AISLADA	106	80	174	227	182	472	178	445	172	56	1.951
Número de muestras	3	3	6	24	28	17	14	24	6	4	129

Atendiendo a cada caso en particular de las localizaciones de muestreo, ya se ha comentado que OG-01 (Museo de Cera) ha ofrecido una especie casi de forma exclusiva (*Vejdovskybathynella edelweiss*), 97 de los 106 individuos encontrados en sólo tres muestras. El lugar OG-02 ha mostrado, a través de las 4 muestras recogidas, una dominancia de los copépodos ciclopoideos (34 de 80 individuos) y de oligoquetos (20 de los 80 individuos). En OG-07, a diferencia de OG-02, además de copépodos ciclopoideos y oligoquetos, también se aislaron numerosos ostrácodos. El punto OG-08 es muy similar a OG-07, de la misma parte de la Cueva, con la salvedad de que en el primero se encontraron dos de los ocho turbelarios obtenidos en el *recorrido habitual*. En OG-09 aparecen grupos similares a los puntos anteriores, pero se han aislado 25 individuos batineláceos, que además pertenecen a un nuevo género estudiado por Camacho (com. personal). La localización OG-10, en Gour de las Hojas, tiene gran similitud con OG-07, próximos espacialmente, con nematodos y ostrácodos abundantes, pero destaca por el número de copépodos harpacticoides presentes, mayor que en otras otras ubicaciones. En OG-14

(Granja de Ortiz) destaca la aparición abundante y constante de un isópodo stenasélido, *Stenasellus virei buchneri*, que es una de las especies de mayor tamaño encontradas. Dicha especie es indudablemente el mayor crustáceo subterráneo entre los que se referencian y requerirá más alimento que otras especies subterráneas menores para mantener su metabolismo. En OG-16, los grupos dominantes son oligoquetos y nematodos, por encima de los crustáceos. Ésta es la única localización del *recorrido habitual* en la que los copépodos harpacticoides abundan más que los copépodos ciclopoideos. Y por último, en OG-16 los crustáceos suponen un 85%, con 48 de los 56 de los individuos separados, de los cuales 33 son batineláceos, más de la mitad.

A la vista de la distribución de los grupos faunísticos y de las especies en el conjunto de los puntos de muestreo (5.3.6.1.a.c y apéndice 3), destacan por su escasa representación en el medio subterráneo del complejo kárstico: el único ejemplar de Hydroida aparecido en OG-10 (junio de 2003). Los turbelarios no tricládidos, que sólo se han encontrado siete individuos procedentes de muestras de cuatro lugares: dos de Gours de las Hojas (OG-08 y OG-15) y los otros dos, OG-14 (Granja de Ortiz) y OG-16 (Sala del Enterramiento), en la Galería Principal y equidistantes de OG-09, en el Sector Central. El grupo de los Hydracarina, los ácaros acuáticos, han tenido una representación escasa, sólo se obtuvieron 17 individuos en este recorrido, repartidos entre siete puntos de muestreo, sin aparecer en OG-01, OG-02 o OG-16.

El resto de los grupos faunísticos han sido más numerosos: los nematodos se han encontrado en la mayoría de las muestras de este recorrido, con excepción de las de OG-01. La mayor parte se ha aislado de muestras de OG-10 y OG-15. Los moluscos han aparecido en siete de las diez ubicaciones, no se detectaron en OG-01, OG-10 ni OG-16. El grupo de los oligoquetos es muy abundante, ha aparecido en las diez localizaciones. Pero se remarca que el grupo más abundante y diverso es el de crustáceos.

Dentro de los crustáceos, han sido ostrácodos y copépodos los que han aparecido en los 10 puntos de muestreo, los únicos junto con los oligoquetos que han mostrado esta elevada incidencia. Los copépodos ciclopoideos son especialmente abundantes, el grupo más abundante de todos los relacionados en la tabla. Son numerosos en todas las muestras, en general, con 14 especies identificadas en este *recorrido habitual*, apéndice 4. Los anfípodos, sin embargo, no se han encontrado en este itinerario. Los isópodos han aparecido en muestras de seis de estos diez lugares, localmente abundantes en OG-14 (Granja de Ortiz) cuyas muestras aportaron 117 individuos isópodos, un 71% de los 165 individuos isópodos procedentes de la cavidad principal. Concretamente, el isópodo *Stenasellus virei buchneri* se ha encontrado en cinco de los diez puntos de muestreo habitual. Los batineláceos, de forma similar a los isópodos, han sido un grupo localmente abundante, con un censo total de este trayecto muy similar, 157 individuos batineláceos obtenidos de cinco localizaciones: en OG-14 y OG-15 sólo se encontró un individuo, mientras que los 154 restantes aparecieron repartidos en muestras de sólo tres lugares:

OG-01, 97 individuos en tres muestras, OG-16, en las cuatro muestras tomadas en diferentes fechas, y OG-09, en 8 de las 26 muestras. Por último, dentro de los crustáceos, se encontraron los cladóceros, infrecuentes en el medio subterráneo, procedentes de cuatro ubicaciones del Sector Central y el Dédalo Oeste: OG-02, OG-08, OG-09 y OG-10.

Para terminar la revisión en función de los grupos faunísticos, los tardígrados han tenido una representación modesta, con seis ejemplares en el *recorrido habitual*, cuatro de OG-10, y un individuo de cada uno de estos puntos: OG-14 y OG-16 de la Galería Principal.

En el *recorrido habitual* aparecen 12 (apéndice 4 y tabla 5.3.6.1.c) del total de 15 especies estigobias que se han encontrado en toda la cueva Palomera. Entre las especies de la Caverna consideradas estigófilas (11 especies), todas ellas han aparecido en los lugares de muestreo habitual.

Tabla 5.3.6.1.c. Número de taxones estigobios (listados más recuento) y estigófilos (recuento) en el *recorrido habitual*.

Especie o subespecie \ Punto muestreo	1	2	7	8	9	10	12	14	15	16
<i>Prorhynchus stagnalis</i>				x						
<i>Trichodrilus tenuis</i>								x		
Phalloporilinae cf. n.sp.1				x	x	x			x	
Limnolacariidae indet.			x	x		x		x		
<i>Pseudocandona</i> n.sp.2 Trapezoide					x					
<i>Acanthocyclops</i> n. sp.1						x				
<i>Graeteriella</i> (<i>Graeteriella</i>) <i>unisetigera</i>		x		x						
<i>Speocyclops infernus</i>				x	x			x		x
<i>Parastenocaris</i> sp.								x		
<i>Stenasellus virei buchneri</i>		x			x	x		x		
<i>Vejdovskybathynella edelweiss</i>	x				x					x
Bathynellidae n.gen. n.sp.1					x			x		x
Total estigobios	1	2	1	5	6	4	0	6	1	3
Otras especies estigófilas	0	8	7	4	2	10	7	5	3	0
Total subterráneos s.l.	1	10	8	9	8	14	7	11	4	3

Las localizaciones que han presentado mayor número de taxones subterráneos están entre las que se han muestreado más intensamente: OG-08, OG-09, OG-10 y OG-14. La ubicación OG-10 es la que ha registrado mayor número de especies subterráneas totales, 14 especies, de las cuales 4 son estigobias. Por otra parte, OG-09 y OG-14 con 6 especies estigobias y OG-08 con 5 especies subterráneas estrictas, son los tres únicos lugares de la caverna principal que han superado a OG-10 en cuanto a este grupo de fauna estenónica.

Existen algunos puntos de diversidad de fauna estigobia, como los cuatro recién nombrados. Incluso, en todos los lugares de Palomera en los que se han tomado 5 o más muestras se ha obtenido al menos una especie subterránea estricta, excepto en OG-12 que tras revisar sus 14 muestras es el único punto de muestreo habitual que carece de dicho registro. Sin embargo, se

han identificado siete especies reconocidas como subterráneas facultativas, estigófilas: el rotífero del género *Keratella*, el oligoqueto *Stylodrilus heringianus* los ostrácodos *Candona neglecta* y *Potamocypris* cf. *fulva*, los copépodos *Diacyclops crassicaudis* y *Diacyclos nanus* y el isópodo *Proasellus* cf. *ortizi*.

De las doce especies estigobias, cinco han resultado ser nuevas para la ciencia. Otros individuos no se han determinado a nivel de especie por escasez de material apropiado y es muy probable que sean especies nuevas: Limnolacariidae indet. y *Parastenocaris* sp., pudiendo incluso existir más de una especie en ambos.

También se ha sumado el número de *taxa* diferentes identificados en las muestras de cada uno de los puntos del recorrido periódico, tabla 5.3.6.1.d, indicando el número de especies subterráneas (estigobias y estigófilas). Donde más taxones totales -subterráneos y epigeos- se han obtenido es en OG-10, Gour de las Hojas. Sin embargo no es el lugar que más taxones estigobios ha aportado (4 estigobios entre 35 taxones): como se ha comentado anteriormente, lo superan OG-09, con un tercio del total de taxones totales (6 estigobios de 18 taxones), OG-14 (6 estigobios sobre un total de 22) y OG-08 (5 estigobios de un total de 24).

Tabla 5.3.6.1.d. Distribución del número de especies en los grandes *taxa* y por punto de muestreo del *recorrido habitual*. Número total de especies (en negro), número de especies estigobias (en rojo y subrayado), número de especies estigófilas (a continuación, en azul).

Especie o subespecie \ Punto muestreo	1	2	7	8	9	10	12	14	15	16
Cnidaria Hydroida	1	1				1\1				
Platyhelminthes Turbellaria				1\1				1\1	1	
Rotifera <i>Keratella</i> sp.							1\1			
Nematoda			1	1	1	1	1	1	1	1
Mollusca Gastropoda		1	1	1			2	2		
Mollusca Bivalvia			1	1					1	
Annelida Oligochaeta		10\5	8\1	13\13	6\1	14\12	6\1	11\12	8\12	3
Limnolacariidae			1\1	1\1		1\1		1\1		
Crustacea Cladocera		1\1		1	1\1	1				
Crustacea Ostracoda		1	5\4	2\1	3\1	5\5	3\2	2\2	1\1	
Cr. Copepoda Cyclopoida		4\11	4\2	3\2	3\11	8\12	3\2	1\1		1\1
Cr. Copepoda Harpacticoida						1		1\1		
Crustacea Isopoda		2\11			1\1	1\1	1\1	1\1		
Crustacea Bathynellacea	1\1				2\2			1\1		2\2
Tardigrada				1	1	2				1
Total estigobios	1	2	1	5	6	4	0	6	1	3
Total subterráneos	1	10	8	9	8	14	7	11	4	3
Total taxa	2	20	21	26	18	36	16	23	12	8

5.3.6.2. Poblaciones del *recorrido ocasional*

En la mayoría de los puntos de muestreo esporádico de la cavidad principal se recogió una única muestra, a excepción de OG-18 y OG-19, donde se recogieron réplicas en fechas distintas, OG-31, donde se tomaron dos muestras por técnicas diferentes (kicking y removido con manga), OG-33, en el cual se tomaron sendas muestras en dos lagos consecutivos y OG-21, en el que se recogieron muestras en un *gour* y seis lagos consecutivos, habiéndose también colectado agua en el 2º lago de la serie de seis en dos fechas diferentes: 31 de enero y 24 de abril de 2004. Todas estas muestras procedentes de los lugares cuya numeración está comprendida entre OG-17 y OG-54, más las muestras de la Sima Dolencias y el Sumidero del río Guareña, suman un total de 46, de las cuales se han aislado 28 *taxa*, sin considerar estadios larvarios de insectos que aparecieron durante la revisión de las muestras.

La distribución de los grupos faunísticos en el recorrido ocasional también presenta heterogeneidad. En general, tienen poca diversidad de grupos taxonómicos considerando las muestras aisladas, con predominancia de los nematodos (indeterminados), moluscos (especialmente el gasterópodo *Ancylus fluviatilis*, que aparece en nueve muestras) y peracáridos (principalmente el afípodo epigeo *Echinogammarus* sp.). Los oligoquetos que son muy abundantes en numerosas muestras de Palomera y del *entorno*, sin embargo, en las muestras de las galerías que van hacia el Sector Oriental, en la Segunda Axial y en La Torcona son escasos, con sólo tres especies en sus 46 muestras. En el conjunto de estas muestras se han identificado sólo 28 taxones diferentes; teniendo en cuenta que se trata de muestras tomadas en varias fechas, en localizaciones dispersas del recorrido realizado a lo largo de la cavidad principal y en diferentes medios ecológicos, resulta un número escaso. En una sola localización del *recorrido habitual*, con un número menor de muestras, se han obtenido más especies: en sólo 17 muestras de OG-10, 30 especies, en OG-08 22 especies obtenidas de sus 24 muestras, OG-02 con 18 especies en tres muestras y OG-07 con 19 especies aisladas de sólo seis muestras.

En la tabla 5.3.6.2.a se refleja la presencia de los *taxa* subterráneos en las muestras de las diferentes localizaciones de muestreo ocasional, además del número total de *taxa*. Las muestras que han presentado mayor número de taxones subterráneos estrictos proceden de la Sima Dolencias y del punto OG-53, ambas con dos especies estigobias. A su vez, son las ubicaciones de cuyas muestras se aisló un mayor número total de *taxa*, 8 especies, seguidos de OG-40 con 7 *taxa*, OG-36 con 5 especies (aunque ninguna subterránea) y varias muestras con 4 y 3 *taxa*. La especie de mayor incidencia en diferentes puntos de muestreo es *Stenasellus virei buchneri*, que aparece en las muestras de cinco de estos puntos, OG-21, OG-39, OG-40, OG-44 y OG-53, mientras que las demás tienen una incidencia menor: *Pseudoniphargus burgensis* en dos muestras, OG-45 y OG-46 y las otras 6 especies consideradas en este apartado, que aparecen en una sola muestra.

Tabla 5.3.6.2.a. Abundancia de taxones **estigófilos** (asterisco rojo) y **estigófilos** (cruz azul) en el recorrido ocasional.

Taxon\Punto	Dolencias	21	38	39	40	44	45	46	50	53
Estigobios										
<i>Phagocata vitta</i>	*									
<i>Limnohalacaridae</i>	*									
<i>Parastenocaris</i> sp.			*							
<i>Pseudoniphargus burgensis</i>							*	*		
<i>Stenasellus virei buchneri</i>		*		*	*	*				*
<i>Iberobathynella burgalensis</i>										*
<i>Bathynellidae</i> n.gen. n.sp.1									*	
Estigófilos										
<i>Marionina</i> cf. <i>argentea</i>				+						
<i>Diacyclops bicuspidatus</i>					+					
Subt. + Epigeos										
Total de especies	8	2	3	8	7	3	3	3	1	2

De los resultados obtenidos tras la revisión de estas muestras se puede resaltar que en las procedentes del Sector Resurgencia (La Torcona) se han aislado 13 *taxa*, entre los que se encuentran dos estigobios y un estigófilo de un total de 28 encontrados. En este Sector Resurgencia se han colectado en exclusiva un número de especies destacable en comparación con el resto de puntos de muestreo esporádico: al menos, identificadas ocho especies diferentes: *Belgrandiella* sp., *Achaeta* sp., *Marionina* cf. *argentea*, *Spirosperma velutinus* (Grube, 1879), *Diacyclops bicuspidatus*, *Eucyclops serrulatus*, *Megacyclops viridis viridis* y *Pseudoniphargus burgensis*.

La presencia de gasterópodos es mayor que en el *recorrido habitual*. *Ancylus fluviatilis* se ha aislado de nueve muestras del recorrido ocasional. En la cavidad principal *Belgrandiella* sp. sólo se ha encontrado en tres muestras procedentes de La Torcona: OG-43, OG-44 y OG-46. El género *Belgrandiella* A.J. Wagner, 1928 sólo se ha encontrado en tres surgencias fuera de la Cavidad, que son las tres fuentes muestreadas más cercanas a la Torcona: *Belgrandiella cantabrica* Rolán, 1993 (fuente Villa y fuente del Mazo 2) y *Belgrandiella ovetensis* Rolán, 1993 (fuente de la Calzada).

El bivalvo *Pisidium amnicum* (O.F. Müller, 1774), el oligoqueto *Spirosperma velutinus*, los hirudíneos *Dina punctata* Johansson, 1927 y *Glossiphonia complanata* (Linnaeus, 1758) y el anfípodo *Pseudoniphargus burgensis* sólo han aparecido en este sector de la Cueva, mientras que las demás también se aislaron de las muestras del *recorrido habitual* o en el *entorno*, como el género *Belgrandiella* que aparece en surgencias del *entorno*.

Los Crustacea prevalecen en el *recorrido habitual*, mientras que en las galerías de La Torcona tienen una presencia equiparable al resto y en las demás localizaciones de muestreo esporádico son muy escasos. En puntos del núcleo principal de la Cavidad y en la rama meridional (Segunda Axial y Sector Resurgencia) los estigobios tienen una presencia importante, como ocurre en OG-09 y OG-14. En el núcleo principal y el sector sur destacan: *Parastenocaris* sp. en OG-38 y especies de Amphipoda, Isópoda y Bathynellacea en la Torcona y en galerías que conectan los Sectores Central y Occidental con el nivel inferior, por el que discurre el río Guareña.

Los Tardigrada no se han observado en las muestras de este sector, mientras que en el *recorrido habitual* se han aislado 4 especies diferentes.

En el conjunto de las 46 muestras y los 28 taxones aislados, ocho de ellos han resultado ser subterráneos: seis estigobios y dos estigófilos, tabla 5.3.6.2.a. En el conjunto de las muestras de la cavidad principal se han aislado 14 *taxa* estigobios y 9 estigófilos, con lo que el número de estigobios aislado en el bloque del muestreo ocasional es importante, 43% de los *taxa* estigobios. Atendiendo al conjunto de taxones, subterráneos y no subterráneos, se han hallado 29 de los 83 encontrados en la cavidad principal, lo que supone un 35%.

En el recorrido ocasional se ha aislado una fauna más escasa, en general. Hay una media de menos de dos especies por muestra y sólo hay un punto de muestreo con dos especies subterráneas: el microturbelario *Phagocata vitta* y un limnohalacárido en el lago al pie de la Sima Dolencias, y dos ostrácodos estigófilos - *Potamocypris* cf. *fulva* y *Candona neglecta*-. En varias muestras del *recorrido habitual* se han encontrado tres especies estigobias, incluso en la Granja de Ortiz, OG-14 en agosto de 2003, se obtuvieron sólo 4 estigobios y un estigófilo: un limnohalacárido, el oligoqueto *Rhyacodrilus falciformis*, copépodo ciclopoide *Speocyclops infernus*, un harpacticoide *Parastenocaris* sp. y el isópodo *Stenasellus virei buchneri*.

5.3.6.3. Poblaciones del entorno

La fauna colectada en las muestras del *entorno* presenta una mayor diversidad específica, un total de 132 *taxa*, frente a la que se ha registrado en la propia cavidad principal, 96 *taxa*, excluyendo en ambos casos las formas larvarias de insectos. Del mismo modo que en el caso de la cueva Palomera, la fauna se distribuye desigualmente además de presentar otros paralelismos. Por ejemplo, se han identificado 38 especies de oligoquetos diferentes, que supone casi un 30% de las especies, concretamente un 29%. Pero existen grandes diferencias en la distribución de la fauna en cuanto a la distribución del número de individuos, figuras 5.3.1.a, d, e y f: paralelamente al número de individuos aislados, el número de especies aisladas de las muestras de la cavidad principal es menor (83 taxones, 175 muestras de 40 puntos de muestreo) que en las recogidas en el *entorno* (136 taxones, 66 muestras de 38 puntos de muestreo).

Tabla 5.3.6.3.a. Distribución de taxones subterráneos exclusivos en los diferentes hábitat del *entorno*. Se indica el número de localizaciones, así como la abreviatura de aquellas que lo albergaban: Ber, Cueva S. Bernabé; Cub, Fuente Cubío; Gar, Cueva García; Hoz, Arroyo de la Hoz; Jai, Sima Jaime; Jor, Fuente Jordana; Kai, Cueva Kaite; Mea, Surgencia de la Mea; Min, Cueva Mina; Ne, Río Nela; PCh, pozo en chalet; PFT, pozo frente al Torcón; Rac, Cueva Racino; Red, Cueva Redonda; Lla, Sima Llanas; Sum, Sumidero Arroyo S. Miguel; Tre, Río Trema; Tru, Río Trueba; Tor, La Torcona; Var, Cueva Vargas.

Taxon\Hábitat	Cuevas	Surgencias	Hiporréico	Freático
<i>“Paladilhiopsis” septentrionalis</i>	1 (Jai)	1 (Tor)	1 (Tre 3, Hoz)	
<i>Spiralix (Burgosia) burgensis</i>			2 (Tru 1, Tre 3)	
<i>Axonopsis (Paraxonopsis) vietzi</i>			1 (Tru1)	
<i>Kongsbergia</i> sp.			1 (Tru 3)	
Candoninae gen. sp.3 trapezoide 2			1 (Hoz)	
Candoninae gen. sp.4 Triangular 1			1 (Tre 2)	
Candoninae gen. sp.5 Triangular 2	2 (Jai, Tor)			
Candoninae gen. sp.6 Triangular 3			1 (Tre 3)	
<i>Acanthocyclops</i> cf. <i>venustus</i>				2 (Tre1, Ne2)
<i>Diacyclops</i> sp. B		1 (Mea)	1 (Tru 1)	5 (PFT, PCh, Ne2, Tre1-3)
<i>Diacyclops</i> sp. C			1 (Ne1)	
<i>Speocyclops sebastianus</i>			1 (Tre 1)	
<i>Speocyclops spelaeus</i>	5 (Var, Gar, Ber, Lla, Rac)			
<i>Canthocamptus staphylinus</i>		1 (Jor)		
<i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i>	1 (Kai)			
<i>Parastenocaris</i> sp.			1 (Tru 1)	
<i>Haploglymus</i> sp.	2 (Min, Red)		2 (Tre 1, Tre 3)	
<i>Iberobathynella cornejoensis</i>			1 (Tre 3)	2 (PFT, Ne 2)
<i>Vejdovskybathynella</i> n.sp.2	1 (Red)			
<i>Enchytraeus buchholzi / christenseni</i>		1 (Cub)		2 (PFT, Tru 3)
<i>Cryptocandona ‘vavrai’</i>	1 (Sum)			
<i>Cyclocypris</i> cf. <i>ovum</i>			2 (Tre 3, Tru 3)	
<i>Diacyclops languidus</i>			1 (Tre 2)	
Total spp. exclusivas (subt. + epigeas)	13	29	45	25

A pesar de albergar mayor número de especies en conjunto, el *entorno* tiene proporcionalmente muchas menos especies subterráneas: casi una tercera parte -38 especies- de su registro -117 especies-, frente a aproximadamente la mitad en la cavidad principal -42 estigobios entre 86 especies totales-. Sin embargo, ambos casos son muy similares en números absolutos: 23 estigobios en el *entorno* y 38 subterráneos totales, frente a los 22 estigobios de la cavidad principal, y los 42 subterráneos totales de los alrededores de Palomera. Por tanto, se aprecia que en los puntos de alrededor hay un mayor número de especies, pero con una influencia más directa del medio epigeo, de forma que presentan más especies estigoxenas.

Aunque el número de especies estigobias y subterráneas *sensu lato* sea muy similar, existen algunas diferencias en la distribución de estos según los grupos faunísticos. En este caso, ostrácodos y copépodos ganan protagonismo, superando la mitad de las especies estigobias y

subterráneas totales (figuras 5.3.6.3.a y b). El conjunto de los crustáceos son las tres cuartas partes de los estigobios, el 74%, 17 de las 23 especies estigobias, figura 5.3.6.3.a, de modo similar a la distribución en Palomera.

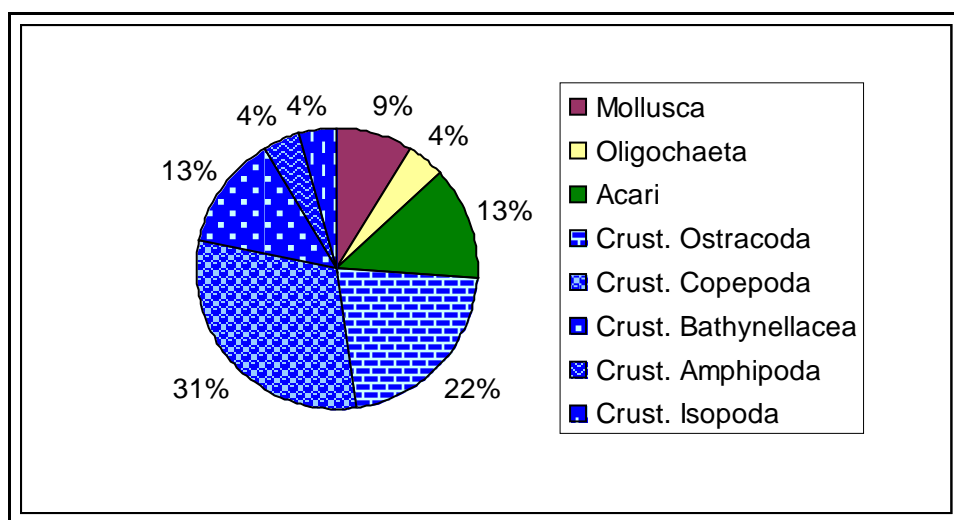


Figura 5.3.6.3.a. Proporción de taxa estigobios en cada grupo faunístico aparecido en el entorno.

Igual que ocurría en la cavidad principal, los ostrácodos y los oligoquetos aumentan la proporción respecto a otros grupos una vez se pasa de considerar sólo los estigobios a sumar también los estigófilos: subterráneos en sentido amplio. Los ostrácodos y los copépodos son los grupos que presentan una mayor diversidad de especies entre la fauna subterránea, en el conjunto de los subterráneos y considerando sólo los estigobios, como indican otros estudios de fauna acuática, según se ha expuesto con anterioridad (Danielopol y Hartman, 1986, Lescher-Moutoué, 1986, Boxshall y Defaye, 2008).

Un gran número de especies se ha encontrado exclusivamente en un único hábitat en el entorno: 70 especies de las 117, más 60% del total de especies, tabla 5.3.6.3.a y cuadro 5.3.6.3.a. Hay 30 especies exclusivas en el medio hiporréico -de las que diez son subterráneas-, 19 especies exclusivas en fuentes -dos de ellas subterráneas-, 12 especies exclusivas en el medio freático -una subterránea- y 9 especies exclusivas en cuevas, una de ellas estigobia. Existen muchas especies con preferencia por un tipo de hábitat concreto, pero lo que ocurre con la mayoría de las registradas aquí es que tienen unas densidades muy bajas. Tienen una aparición rara y aunque puedan habitar medios muy distintos, sólo se han aislado en uno de ellos.

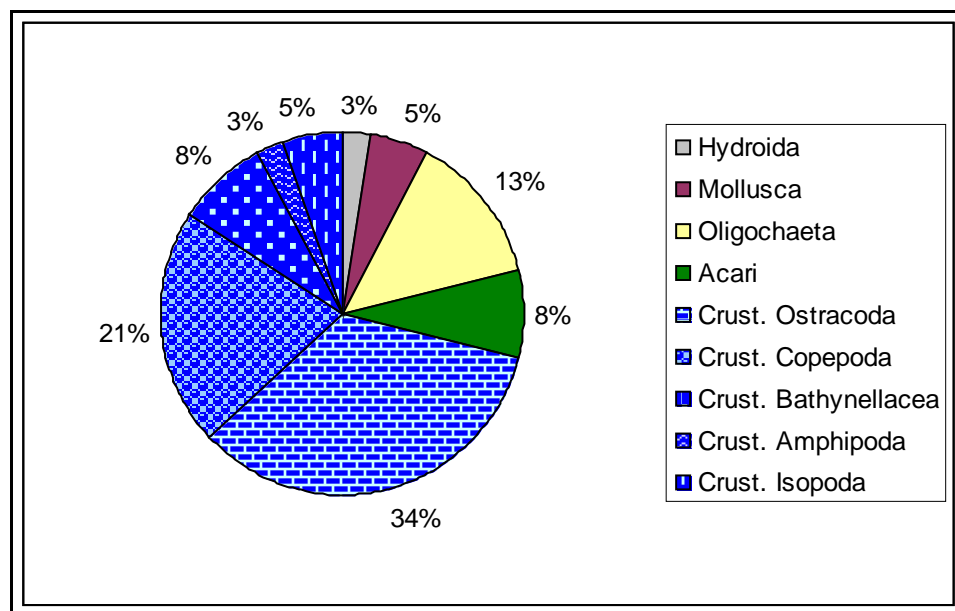


Figura 5.3.6.3.b. Distribución de la fauna subterránea (estricta y facultativa) en los grupos taxonómicos del *entorno*.

Sin embargo, algunas especies sí tienen una preferencia marcada por uno u otro tipo de medio, como el caso -comentado anteriormente- de *Speocyclops spelaeus*, que habita las cuevas, los ácaros Prostigmata del medio hiporréico y los copépodos *Diacyclops*, entre los que hay especies con preferencia por el medio vadoso de las cuevas o el hiporreos, donde ha aparecido una nueva especie. Hay otros casos en los que no se ha encontrado en su hábitat preferente, como *Speocyclops sebastianus*, que suele habitar cuevas y aquí se ha aislado del medio hiporréico.

La aparición de mayor cantidad y variedad de fauna en ambientes que están más estrechamente relacionados con el medio epigeo tiene una explicación sencilla en un espacio natural bien conservado como este, ya que existe un aporte de nutrientes adecuado para el desarrollo de poblaciones numerosas, ausencia de contaminantes y otras perturbaciones, del mismo modo que la fauna epigea puede penetrar fácilmente y contribuye a una mayor diversidad de especies.

Cuadro 5.3.6.3.a. Especies de aparición exclusiva en un hábitat entre muestras del *entorno* (Estigobio, en rojo y subrayado; Estigófilo, en azul y entre paréntesis; estigoxeno o estatus ecológico desconocido, en negro). Entre paréntesis se indica el número de taxa estigobios y estigófilos que incluye cada caso.

Cuevas: 11 totalmente exclusivas (5+1) + 6 compartidas con Palomera (2+2).

Surgencias: 16 totalmente exclusivas (1+2) + 7 compartidas con Palomera (5).

Hiporréico: 29 totalmente exclusivas (10) + 2 compartidas con Palomera (2)

Freático: 13 totalmente exclusivas (1).

<p>Cuevas: 11 totalmente exclusivas (5+1) + 6 compartidas con Palomera (2+2).</p> <p>Surgencias: 16 totalmente exclusivas (1+2) + 7 compartidas con Palomera (5).</p> <p>Hiporréico: 29 totalmente exclusivas (10) + 2 compartidas con Palomera (2)</p> <p>Freático: 13 totalmente exclusivas (1).</p>
<p>Cuevas</p> <p><i>Cnidaria</i> indet. (OG-10), <i>Aron</i> sp., <i>Zospeum</i> sp. (puntos 02, 07, 08 y 14 del recorrido habitual), <i>Buchholzia</i> sp., <i>Fridericia</i> sp. (localizaciones 02, 08, 09, 10, 15 y 16 de Palomera), <i>Axonopsis</i> (<i>Brachypodopsis</i>) <i>guadarramensis</i>, <i>Pseudocandona albicans</i> (OG-10), <i>Cryptocandona</i> sp. “vavrai”, <i>Pseudocandona</i> n.sp.2 <i>Trapezoide</i> 1 (OG-9), <i>Candoninae</i> gen. sp.5, <i>Speocyclops spelaeus</i>, <i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>pyrenaicus</i>, <i>Maraenobiotus vej dovskyi truncatus</i>, <i>Vejdovskybathynella</i> n.sp.2, <i>Bathynellidae</i> n.gen. n.sp.1 (puntos 09, 14, 16 y 50 de la cavidad principal), <i>Isohypsibius</i> sp. y <i>Macrobiotus</i> grupo <i>richtersi</i>.</p>
<p>Surgencias</p> <p><i>Belgrandiella cantabrica</i>, <i>Belgrandiella ovetensis</i>, <i>Lymnaea truncatula</i>, <i>Pisidium casertarum</i> (OG-08), <i>Aeolosomatidae</i> indet., <i>Aulodrilus pluriset</i>, <i>Buchholzia fallax</i>, <i>Cognettia sphagnetorum</i>, <i>Henlea</i> sp. (OG-07 y OG-10), <i>Tubifex tubifex</i>, <i>Limnodrilus hoffmieseri</i>, <i>Rhyacodrilus falciformis</i> (ubicaciones 02, 08, 10, 14 y 15 en Palomera), <i>Candona candida</i> (localizaciones 07, 08 y 10 del recorrido habitual), <i>Candona neglecta</i> (Sima Dolencias y puntos 07, 09, 10, 12 y 14 en Palomera), <i>Ilyocypris</i> sp., <i>Herpetocypris</i> sp., <i>Heterocypris incongruens</i>, <i>Potamocypris</i> cf. <i>zsoskkei</i>, <i>Diacyclops languidus</i> (OG-7), <i>Eucyclops speratus</i>, <i>Canthocamptus staphylinus</i>, <i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i> (OG-02 y OG-12) y <i>Pseudobiotus megalonyx</i>.</p>
<p>Hiporréico</p> <p><i>Potamopyrgus antipodarum</i>, <i>Spiralix</i> (<i>Burgosia</i>) <i>burguensis</i>, <i>Stylodrilus heringianus</i> (OG-12), <i>Phallothrilineae</i> gen. n.sp.2, <i>Nais bretscheri</i>, <i>Erpobdellidae</i> indet., <i>Glossiphonia</i> cf. <i>paludosa</i>, <i>Torrenticola</i> sp., <i>Frontipodopsis</i> sp., cf. <i>Aturus</i> sp., <i>Axonopsis</i> (<i>Paraxonopsis</i>) <i>vietsi</i>, <i>Axonopsis</i> sp., <i>Kongsbergia</i> sp., <i>Neacarus hibernicus</i>, <i>Candoninae</i> gen. sp.3, <i>Candoninae</i> gen. sp.4, <i>Candoninae</i> gen. sp.6, <i>Cyclocypris</i> cf. <i>ovum</i>, <i>Prionocypris</i> cf. <i>zenkeri</i>, <i>Potamocypris</i> cf. <i>variegata</i>, <i>Limnocythere</i> cf. <i>inopinata</i>, <i>Diacyclops lubbocki</i>, <i>Diacyclops</i> n. sp.3, <i>Diacyclops languidus</i> (OG-07), <i>Eucyclops</i> cf. <i>macruroides</i>, <i>Speocyclops sebastianus</i>, <i>Paracamptus</i> sp., <i>Parastenocaris</i> sp., <i>Dactylobiotus dispar</i>, <i>Hypsibius</i> sp. y <i>Milnesium</i> sp.</p>
<p>Freático</p> <p><i>Gyraulus</i> sp., <i>Carychium</i> sp., <i>Cernosvitoviella</i> cf. <i>aggtelekiensis</i>, <i>Cernosvitoviella atrata</i>, <i>Nais communis</i> / <i>variabilis</i>, <i>Nais pseudobtusa</i>, <i>Chaetogaster langi</i>, <i>Cypridopsis</i> sp., <i>Acanthocyclops</i> cf. <i>venustus</i>, <i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>pygmaeus</i>, <i>Hypsibius convergens</i>, <i>Hypsibius dujardini</i> e <i>Isohypsibius marcellinoi</i>.</p>

Se puede ver gráficamente en la figura 5.3.6.3.c que el medio hiporréico es aquel que tiene mayor número de especies totales, 64, así como de fauna estigobia y subterránea *s.l.* Considerando el número de muestras recogidas en cada uno de ellos, el hiporreos también es el medio con mayor densidad de fauna subterránea por muestra -1'5 especies subterráneas/muestra-

así como la mayor densidad total de especies -subterráneas y epigeas-, con 4'3 especies/muestra (tabla 5.3.6.3.b). A continuación se sitúan el medio freático y las cuevas, con la misma densidad de estigobios por muestra, 0'4 especies estigobias/muestra, aunque el freático con mayor densidad de subterráneas *s.l.*, 0'8 spp subterráneas/muestra y especies totales, 4 spp/muestra de promedio. Las surgencias, con 0,31 estigobios/muestra de media, es el hábitat que tiene este índice menor, pero con más subterráneos *s.l.* por muestra que las cuevas y el freático, 0'94 subterráneos/muestra (por debajo de 1,53 spp/muestra del hiporréico), y entre las cuevas y el freático en índice de especies totales, 3'25 especies/muestra. Por último, las cuevas tienen una densidad media de 0'4 estigobios/muestra, como el medio freático, pero con los menores índices de subterráneos totales y de especies totales -subterráneos y no subterráneos-, 0'68 y 1'4 especies/muestra respectivamente.

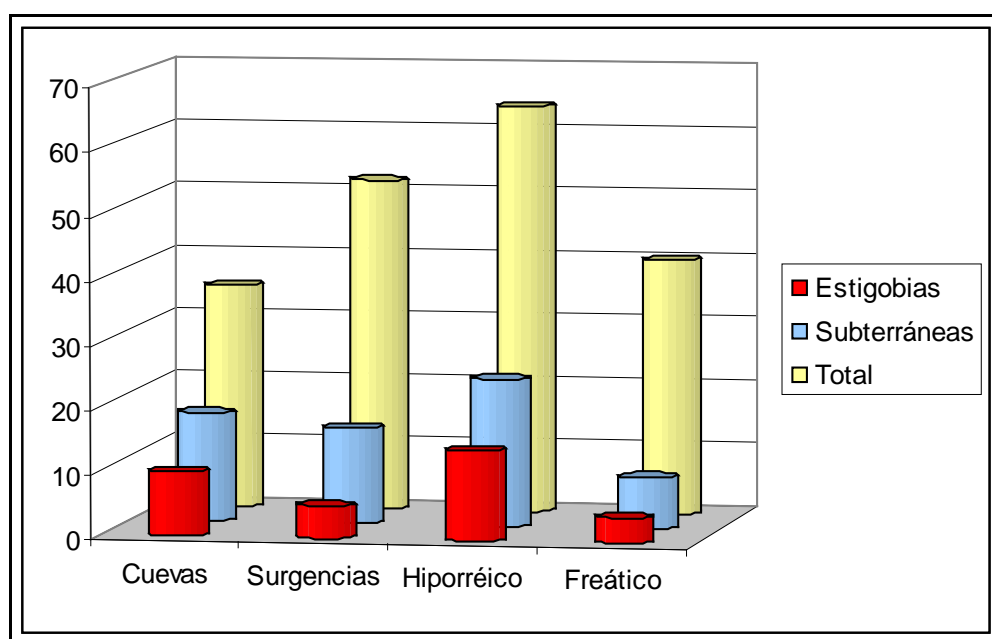


Figura 5.3.6.3.c. Distribución de las especies de la fauna subterránea y epigea (número absoluto de especies, Total), así como de la fauna subterránea (en sentido estricto, estigobias, y en sentido amplio, subterráneas *s.l.*) por tipo de hábitat en el *entorno*.

Esto pone de manifiesto que a mayor conectividad con el medio epigeo, existe una mayor densidad de fauna: hiporréico > freático y surgencias > cuevas, teniendo en cuenta que en el medio freático predominan las muestras de freático somero, estrechamente ligado al hiporréico. Este hecho lleva a la mayor disponibilidad de alimento para el sostenimiento de las poblaciones, además de la mayor proximidad a medio epigeo que facilita el acceso de especies estigoxenas, más abundantes que las hipogeas.

Tabla 5.3.6.3.b. Resumen de la distribución faunística en los distintos tipos de hábitat del *entorno*. Se indica el número de especies presentes en cada caso y, entre paréntesis, la densidad promedio que corresponde a cada muestra de dicho hábitat.

	Cuevas	Surgencias	Hiporréico	Freático
spp totales	35 (1'40)	52 (3'25)	64 (4'27)	40 (4'00)
spp subterráneas	17 (0'68)	15 (0'94)	23 (1'53)	8 (0'80)
spp estigobias	10 (0'40)	5 (0'31)	14 (0'93)	4 (0'40)
nº de muestras	25	16	15	10
nº de lugares	12	12	12	10

Aunque el número absoluto y relativo de especies por muestra es menor en el caso de las cuevas, si se considera la proporción de especies subterráneas, estigobias y totales, sobre el total de especies aisladas en cada hábitat, el que mayor índice presenta es el de cueva: casi, la mitad de las especies son subterráneas, según recoge la tabla 5.3.6.3.c. La proporción de estigobias es aproximadamente el triple que en el medio freático y en las surgencias; también es superior a la del medio hiporréico, aunque no hay tanta diferencia: 28'6% de estigobias en las cuevas frente al 21'9% en el medio hiporréico.

Tabla 5.3.6.3.c. Índice de riqueza de fauna subterránea en los distintos tipos de hábitat del *entorno*. Se indica el número de especies presentes en cada caso y, entre paréntesis, la proporción, en %, de especies totales aisladas de dicho hábitat.

	Cuevas	Surgencias	Hiporréico	Freático
spp totales	35 (100)	52 (100)	64 (100)	40 (100)
spp subterráneas	17 (48'6)	15 (28'8)	23 (35'9)	8 (20'0)
spp estigobias	10 (28'6)	5 (9'6)	14 (21'9)	4 (10'0)

5.3.6.4. Riqueza faunística de las poblaciones recogidas en cueva Palomera

Para analizar la diversidad recogida en los puntos de muestreo del *recorrido habitual* con más de 10 réplicas de muestreo (puntos con numeración comprendida entre 8 y 14) se ha recopilado la información de los datos faunísticos (tabla 5.3.6.4.a, apéndice 4), sumando el número de muestras de cada punto en las que aparecían las especies, utilizando este recuento como abundancia en los puntos.

Tabla 5.3.6.4.a. Número de muestras que contenían cada especie en los distintos puntos de muestreo del *recorrido habitual*. En Rojo: especies estigobias. En azul: especies estigófilas.

	OG-08	OG-09	OG-10	OG-12	OG-14
sp.1			1		
sp.2	1				
sp.3					1
sp.4				1	
sp.5	9	1	7	3	4
sp.6					1
sp.7	3				1
sp.8	1				
sp.9			1	3	
sp.10				1	
sp.11					2
sp.12	1	1	1		
sp.13	3	4	2	1	2
sp.14	9	1		1	1
sp.15	2		2		2
sp.16					
sp.17	2				1
sp.18	3	1	2		
sp.19			1		
sp.20			2		1
sp.21	1		2		2
sp.22	8	2	5		4
sp.23	1				
sp.24	1				
sp.25			2		
sp.26			1		
sp.27	1		3		1
sp.28	1				
sp.29	5	2	2	2	2
sp.30			3	1	1
sp.31	1		1		1
sp.32	2		1		
sp.33	2		1		
sp.34			5	1	1
sp.35			1		
sp.36		1		1	
sp.38		1	1		
sp.37		5			
sp.39	1		2	4	2
sp.40			1		
sp.41			2		
sp.42		1			
sp.43			2		
sp.44	1	5	5	2	
sp.45				1	
sp.46					
sp.47			2	4	
sp.48			1		
sp.49	1				
sp.50			5		
sp.51			3		
sp.52	3	2			7
sp.53			1		
sp.54					2
sp.55		2	1		18
sp.56				5	
sp.57		8			
sp.58		2			1
sp.59			1		
sp.60	1				
sp.61		1			
sp.62			1		

Aplicando sobre estos datos el índice de Shanon-Wiener (H') se obtienen los resultados de la tabla 5.3.6.4.b, donde se observa que OG-10 es el que presenta el mayor índice de diversidad respecto a su valor H' max ($J'=0,94$). El resto de los puntos se ordenan a continuación del número 10 como sigue a continuación: OG-12 ($J'=0,93$), OG-09 ($J'=0,90$), OG-08 ($J'=0,88$) y en último lugar en punto 14 ($J'=0,83$).

Tabla 5.3.6.4.b. Índice de riqueza específica de Shanon-Wiener en puntos con más de 10 réplicas.

Muestra	S	N	d	J'	H' (Ln)	H'max (Ln)	1-Lambda'
8	25	64	5.771	0.8893	2.863	3.219	0.9375
9	17	40	4.337	0.9031	2.559	2.833	0.9244
10	35	74	7.900	0.9409	3.345	3.355	0.9700
12	15	31	4.077	0.9286	2.515	2.708	0.9355
14	22	58	5.172	0.8315	2.570	3.091	0.8832

Se aprecia, sin embargo, que el número total de especies recolectadas en estas muestras no es directamente proporcional al índice de diversidad, como se puede ver en la tabla 5.3.6.4.b, no siguen el mismo orden: el punto con mayor número de especies es OG-10 (35 spp), seguido de OG-08 (25 spp), OG-14 (22 spp), OG-09 (17 spp) y OG-012 (15 spp).

5.3.6.5. Riqueza faunística de las poblaciones recogidas en el *entorno*

De modo similar a como se ha realizado con los emplazamientos del *recorrido habitual*, las muestras del *entorno* se han dividido por medio para poder comparar la diversidad de los cuatro ambientes: cuevas, fuentes, medio hiporréico y medio freático.

Tabla 5.3.6.5.a. Número de muestras que contenían las diferentes especies procedentes de los distintos ambientes en el *entorno*.

	CUEVAS	FUENTES	HIPORRÉICO	FREÁTICO
sp.1	1			
sp.2		1		
sp.3	12	11	1	1
sp.4	1	2	5	
sp.5		2		
sp.6		1		
sp.7	1	1	2	
sp.8			1	
sp.9			3	
sp.10		2	1	
sp.11		2		
sp.12				1
sp.13	1			
sp.14				1
sp.15	4			
sp.16		1		
sp.17	1	1		
sp.18		1	2	1
sp.19		1		
sp.20		2		1
sp.21			1	
sp.22			1	
sp.23		1		
sp.24	1	2	2	2
sp.25		2		2
sp.26		1		
sp.27		1		
sp.28	1			
sp.29				1

	CUEVAS	FUENTES	HIPORRÉICO	FREÁTICO
sp.30				1
sp.31				1
sp.32		2		1
sp.33		1	1	3
sp.34	1	3	1	3
sp.35		1		
sp.36			1	
sp.37		1		2
sp.38	1			
sp.39		1		
sp.40	1	1		1
sp.41	2	6	4	5
sp.42		1		
sp.43	1	3	2	2
sp.44		1	1	
sp.45	2	6		5
sp.46			1	1
sp.47			1	
sp.48				2
sp.49			1	1
sp.50				1
sp.51				1
sp.52		1	1	2
sp.53		1		
sp.54		1		
sp.55		1		
sp.56			1	
sp.57			1	
sp.58			1	
sp.59			2	
sp.60			1	
sp.61		1	1	
sp.62			1	
sp.63	1			
sp.64			1	
sp.65			1	
sp.66			1	
sp.67			1	
sp.68	4	3	5	4
sp.69		2	7	
sp.70		1		
sp.71		3		
sp.72	1			
sp.73	1			
sp.74		3	1	
sp.75	3			
sp.76			1	
sp.77			1	
sp.78	1	1		
sp.79			1	
sp.80	1	6		
sp.81			2	
sp.82		1		
sp.83			1	
sp.84		1		
sp.85		1		
sp.86				1
sp.87	1		1	
sp.88	1	3	2	2
sp.89			1	
sp.90			1	
sp.91				2
sp.92		1	2	
sp.93	4			2
sp.94			1	
sp.95		1		
sp.96		1	2	5
sp.97			1	
sp.98			1	
sp.99	1	5	1	2
sp.100		1		
sp.101			2	1
sp.102	1	1		
sp.103		3	4	1
sp.104			1	
sp.105	6			
sp.106		4	1	2
sp.107	1	6	5	2
sp.108		1	4	1
sp.109		5	1	
sp.110				1
sp.111	11			

	CUEVAS	FUENTES	HIPORRÉICO	FREÁTICO
sp.112		2	1	4
sp.113		1		
sp.114			1	1
sp.115	1			
sp.116		2	4	1
sp.117			1	
sp.118			1	
sp.119			1	2
sp.120		2	2	2
sp.121	4	1		
sp.122		2		
sp.123	2		2	
sp.124	2	1		
sp.125	2	1		
sp.126			1	
sp.127		1	4	1
sp.128			1	
sp.129				1
sp.130				1
sp.131				1
sp.132	1			
sp.133	1			
sp.134			1	
sp.135		1		

Debido a que en las localizaciones del *entorno* se ha seguido una dinámica de muestreo más homogénea, la aplicación de los índices de diversidad y la comparación del resultado en los diferentes medios ecológicos es más idóneo en este caso que para comparar las diferentes ubicaciones de la cavidad principal, Palomera. En la tabla 5.3.6.5.a se resume.

A pesar de contar con el menor número de réplicas y con el menor número de especies totales, el medio freático es el que ostenta el mayor índice de diversidad de Shanon-Wiener (0'956), sobre el medio hiporréico (0'948), el hábitat de surgencia (0,897) y cueva (0'885).

Tabla 5.3.6.5.b. Índice de riqueza específica de Shanon-Wiener en los cuatro ambientes considerados en el *entorno*.

Muestra	S	N	d	J'	H' (Ln)	1-Lambda'
Cueva	37	82	8'17	0'8848	3'195	0'9494
Fuente	26	51	6'36	0'8968	2'922	0'9365
Hiporréico	68	115	14'12	0'9485	4'002	0'9854
Freático	46	82	10'21	0'9560	3'660	0'9813

Por tanto, para una buena investigación de la fauna subterránea no se deben considerar exclusivamente las cuevas, los ríos, las surgencias, los pozos o sus medios asociados, sino que se deben estudiar en su conjunto, ya que hay determinadas especies que son específicas de uno u otro. Además, según la región geográfica considerada, las especies pueden adaptarse en función de la competencia interespecífica a la que esté sometida.

5.4. Análisis de conjunto / del ecosistema

Se ha utilizado la rutina BIOENV de Primer para analizar cual es la relación entre la composición físico-química del agua y la distribución de la fauna. Para ello se han utilizado los datos de presencia de

grupos taxonómicos y de físico-química que coinciden en las localizaciones de muestreo y fecha. Se han considerado independientemente los tres niveles de detalle de análisis:

- a) *Recorrido habitual* de Palomera.
- b) Recorrido ocasional de Palomera
- c) Entorno de Palomera.

5.4.1. Recorrido habitual de la cavidad principal

El análisis de la relación entre los parámetros físico-químicos y la distribución de la fauna, mediante la rutina BIOENV, tiene como resultado los índices de correlación del cuadro 5.4.1.a. Se puede observar que la correspondencia entre ambos grupos de variables es escasa en este grupo de muestras, siendo el índice de correlación más elevado 0,157, entre la distribución de la fauna y las variables: temperatura, pH y concentración de sulfatos. Por ende, la distribución de la fauna en el *recorrido habitual* debe estar determinada por más variables que los parámetros físico-químicos considerados durante este estudio. Tendrán más relevancia otras características del ambiente, como pueda ser el régimen hídrico, la granulometría, o incluso, que ocurran importantes procesos estocásticos.

Cuadro 5.4.1.a. Combinaciones de variables que tienen mayor correlación con la distribución de la fauna.

<i>Mejores resultados</i>		
Número de Variables	Índice de correlación	Combinación de variables
3	0.157	T ^a , pH, SO ₄ ²⁻
4	0.135	T ^a , pH, SO ₄ ²⁻ , K ⁺
2	0.134	T ^a , pH
5	0.132	T ^a , pH, SO ₄ ²⁻ , K ⁺ , Na ⁺
4	0.132	T ^a , pH, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
2	0.130	T ^a , SO ₄ ²⁻
4	0.129	T ^a , pH, SO ₄ ²⁻ , Na ⁺
3	0.127	T ^a , SO ₄ ²⁻ , K ⁺
2	0.123	pH, SO ₄ ²⁻
5	0.116	T ^a , pH, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , K ⁺

5.4.2. Recorrido ocasional de la cavidad principal

Al utilizar la rutina BIOENV con los datos ambientales y biológicos del recorrido ocasional se obtienen los índices de correlación del cuadro 5.4.2.a. Paradójicamente, el recorrido ocasional presenta unos índices de correlación muy elevados entre la distribución de la fauna y algunas combinaciones de variables físico-químicas. El mayor índice de correlación revelado, 0,932, es entre la fauna y las variables temperatura y concentración de nitratos.

Cuadro 5.4.2.a. Combinaciones de variables que tienen mayor correlación con la distribución de la fauna.

<i>Mejores resultados</i>		
Número Variables	Índice de correlación	Combinación de variables
2	0.932	T ^a , NO ₃ ⁻
3	0.876	T ^a , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
3	0.849	T ^a , Cond., NO ₃ ⁻
4	0.839	T ^a , Cond., SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
3	0.825	T ^a , NO ₃ ⁻ , Na ⁺
3	0.817	T ^a , NO ₃ ⁻ , K ⁺
4	0.816	T ^a , pH, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
4	0.815	T ^a , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻
3	0.814	T ^a , NO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻
3	0.814	T ^a , pH, NO ₃ ⁻

El hecho del elevado índice de correlación resulta sorprendente, por las distribuciones difusas y solapadas obtenidas en los análisis de los patrones físico-químicos y faunísticos, particularmente acusado con la fauna. No es de extrañar, sin embargo, la dominancia de la temperatura y los nitratos, puesto que son las dos variables con mayor aportación al constituir los dos primeros componentes en el análisis de componentes principales (PCA). Las muestras que han presentado mayor diversidad son aquellas que tenían un registro de temperatura mayor y una concentración de nitratos moderada. Éstas son las muestras de la Torcona, aguas que recorren el complejo kárstico antes de alcanzar la zona de surgencia, pudiendo tener una mayor cantidad de fauna subterránea.

5.4.3. Entorno de la cavidad principal

El análisis de la relación entre los datos físico-químicos y faunísticos del *entorno* ha mostrado un índice de correlación bajo (ver cuadro 5.4.3.c).

Cuadro 5.4.3.a. Combinaciones de variables que tienen mayor correlación con la distribución de la fauna.

<i>Mejores resultados</i>		
Número Variables	Índice de correlación	Combinación de variables
5	0.215	pH, Cond., Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , Mg ²⁺
4	0.214	pH, Cond., Cl ⁻ , Mg ²⁺
3	0.211	pH, Cl ⁻ , Mg ²⁺
3	0.200	Cond., Cl ⁻ , Mg ²⁺
5	0.193	pH, Cond., Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Mg ²⁺
4	0.192	pH, Cond., SO ₄ ²⁻ , Mg ²⁺
5	0.192	pH, Cond., Cl ⁻ , Mg ²⁺ , Na ⁺
1	0.191	Mg ²⁺ , pH, Cond., Cl ⁻
5	0.189	T ^a , pH, Cond., Cl ⁻ , NO ₃ ⁻
5	0.188	T ^a , pH, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , Mg ²⁺

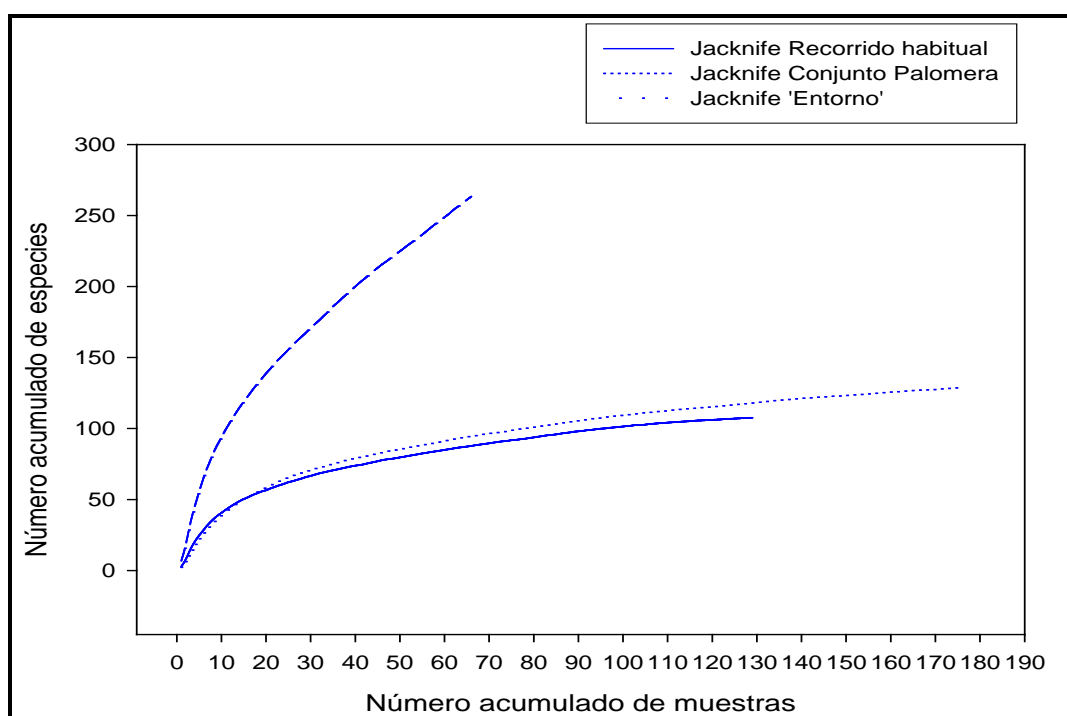
El índice de correlación máximo es de 0,215 para la mejor combinación de variables, que son pH, conductividad eléctrica y concentración de tres iones diferentes: cloro, nitratos y magnesio. Con un índice de correlación tan pobre resulta arriesgado buscar paralelismos entre la distribución entre los dos grupos de variables. También se debe tener en cuenta el hecho de que la fauna, por sí misma, tampoco ha presentado un patrón de distribución muy definido, con lo cual resulta más compleja la comparación.

5.5. Contribución a la diversidad de especies de los diferentes hábitat y bloques estudiados.

Patrones de distribución de la riqueza de especies y potencial biológico. Grado de conocimiento de las poblaciones reales

Se ha realizado una estimación de la riqueza de especies que hay en la zona muestreada, mediante el índice de Jackknife-2, comparando la diversidad presente en Palomera y en el *entorno*. En la figura 5.5.a se representan los índices de Jackknife calculados para los diferentes niveles de detalle considerados en el análisis.

Figura 5.5.a. Representación de los índices de Jackknife calculados para el *recorrido habitual* y el conjunto de la cavidad principal y el *entorno*.



En dicha figura se advierte la distinta tendencia en el crecimiento del número de especies, según se incrementa el número de muestras. Respecto a Palomera, en un primer instante hay una adición muy acusada, aunque a partir de la décima muestra la curva de crecimiento paulatinamente se hace más

tendida. Para el *entorno*, la pendiente de crecimiento es muy elevada, incluso cuando se aproxima a las sesenta y seis muestras colectadas, y queda muy lejos de alcanzar una asíntota, es decir la saturación de especies que implicaría que se han descubierto la mayoría de las especies que habitaban el Monumento durante el estudio. Así pues, deben de quedar numerosas especies sin detectar y en caso de colectarse más muestras, aparecerán nuevas especies con facilidad. Teniendo en cuenta que se han estudiado unas pocas localizaciones de un gran karst, estos datos deben ser una subestima, más aún a sabiendas de la rareza y endemicidad de algunas de las especies presentes.

Se ve que el *entorno* aporta un mayor número de especies al conjunto de la diversidad de invertebrados acuáticos que Palomera, aunque no se ha alcanzado el máximo de diversidad en ninguno de los dos casos. En el caso de Palomera, aunque el crecimiento es menor, se mantiene muy constante con las últimas cien muestras (80-180). El *entorno*, con menos de la mitad de muestras dobla el número de especies de Palomera y conserva un incremento en el número de especies elevado, como se ha señalado anteriormente. Este hecho puede deberse, en parte, a la diversidad de hábitat y a la mayor extensión de muestreo, que se traduce en una mayor capacidad de carga de especies.

Actualmente, con los medios técnicos, económicos y humanos de que se dispone, a corto y medio plazo es imposible conocer la fauna total estigobia del Monumento. Pero es conveniente seguir con la investigación en diversos ambientes y lugares con el fin de poder hacer estimaciones cada vez más aproximadas de la riqueza total de especies, ir ampliando el inventario de fauna conocida y precisar más en la sistemática, con la conjunción de la taxonomía clásica morfológica y el apoyo de las técnicas moleculares.

Discusión

6. Discusión

El presente trabajo resulta novedoso por integrar faunística y ecología de los diferentes grupos zoológicos, meiofauna acuática que aparece en varios ambientes subterráneos, aparte del apunte sobre la taxonomía de dos grupos Crustacea Peracarida, Isopoda y Amphipoda. En el medio subterráneo, anteriormente se han realizado estudios taxonómicos y faunísticos de un único grupo, a veces en un número muy escaso de localizaciones (Gibert, 1986; Culver y Holsinger, 1994; Fong y Culver, 1994; Pesce *et al.*, 2004; Camacho *et al.*, 2006b), o bien ecológicos de un número reducido de grupos faunísticos o de diversas especies en un hábitat concreto (Culver, 1982; Culver y Holsinger, 1994; Culver y Sket, 2000; Dole-Olivier *et al.*, 2000; Brancelj, 2002; Camacho, 2003a; Culver *et al.*, 2004; Jefferson *et al.*, 2004; Pesce *et al.*, 2004; Pipan y Culver, 2005). También en algunas ocasiones se ha estudiado una particularidad biogeográfica, ecológica o fisiológica pero siempre de una única especie (Boutin, 1994; Coineau, 1994; Knapp y Fong, 1999; Hervant *et al.*, 2001). Sólo recientemente se han comenzado estudios extensivos que abarcan un estudio faunístico y ecológico, como son las investigaciones que se han desarrollado en el marco del proyecto europeo PASCALIS (Camacho *et al.*, 2006b; Ferreira *et al.*, 2007; Gibert y Culver, 2009; Dole-Olivier *et al.*, 2009b). El estudio de comunidades biológicas completas del epikarst se ha abordado en contadas ocasiones, como en los trabajos que han realizado: Delay, 1968; Culver y Holsinger, 1992; Gibert *et al.*, 1994b; Pipan, 2005; Camacho *et al.*, 2006a; Pipan y Culver, 2007; Deharveng *et al.*, 2009; Galassi *et al.*, 2009a y b; Malard *et al.*, 2009, etc.

En esta ocasión se combina el estudio intensivo de un sistema kárstico, de modo similar a como lo han realizado anteriormente otros investigadores -Brancelj, 2002; Pipan, 2005; Pipan *et al.*, 2006a-, complementándolo con el estudio de surgencias -Rouch, 1986; Notenboom *et al.*, 1996-, medio hiporréico -Boulton *et al.*, 1998; Mermillod-Blondin *et al.*, 2000- y ambiente freático -Malard *et al.*, 1997-.

Dada la amplitud del estudio y la gran cantidad de resultados obtenidos, optamos por ir realizando una pequeña discusión en cada apartado concreto a medida que hemos ido desgranando los logros alcanzados. De esta manera hemos llegado a este apartado final que no es sino una pequeña síntesis de las más amplias discusiones abordadas en otros capítulos.

6.1. Sobre la composición química del agua

Las variables físico-químicas del agua kárstica (Bakalowicz, 1994, Langmuir, 1997) están influenciadas principalmente por:

- la composición del agua de precipitación, que tiene una concentración de carbono orgánico entre 0'5 y 1'5 mg/l,
- condiciones climáticas generales: precipitación media, temperatura, presión atmosférica, etc.,

- disolución de sales en el agua de infiltración al pasar por la potencia de calizas, donde disocia, principalmente: cloro, sodio, sulfatos y potasio, determinado por las condiciones de flujo del agua en el ambiente subterráneo,
- la actividad en el propio suelo, que principalmente determina la concentración de nitratos, formiato y anhídrido carbónico $\text{-CO}_2\text{-}$, y éste último a su vez actúa en la disolución de la roca caliza -bicarbonatos, calcio y magnesio-,
- la composición mineralógica de la roca: contenido en bicarbonatos, calcio y magnesio, y
- las propiedades hidrogeológicas de la roca y los sedimentos por donde discurre el agua, que tiene una gran influencia en el grado de interacción agua/roca, determinado principalmente por la granulometría.

La composición del agua en todos los puntos de muestreo, en particular la gran correlación entre bicarbonatos y calcio, indican que la composición del agua en la cueva de Ojo Guareña está determinada por la disolución de la roca madre tras la infiltración de las precipitaciones. Los periodos fríos provocan la percolación de pequeñas cantidades de agua, que fluyen con lentitud y cuyo resultado es un índice de saturación elevado de anhídrido carbónico en el agua, con elevadas concentraciones de sales durante el periodo de latencia vegetativa de las plantas y parte de los microorganismos. Los índices de saturación de anhídrido carbónico son mayores durante el periodo vegetativo por la respiración metabólica de plantas y microbiota edáfica y, por tanto, al contrario que en las épocas frías, puede haber tormentas de verano abundantes y de corta duración que derivan en un gran caudal de agua de infiltración con pocos solutos y altas concentraciones de CO_2 , como consecuencia de la actividad de las plantas que capturan sales minerales y liberan anhídrido carbónico.

En general, las pozas o marmitas, *gours* y charcos de Ojo Guareña tienen aguas carbonatadas, con una ausencia generalizada de contaminantes, coincidiendo con los resultados del estudio hidroquímico de Eraso *et al.*, 2001 en la misma área, con pequeñas variaciones en las condiciones físico-químicas a lo largo del ciclo anual. Sin embargo, aunque se observa un cambio pequeño en la generalidad de las condiciones abióticas, sí se observa una periodicidad marcada en la saturación de anhídrido carbónico con el transcurso de las estaciones, que se refleja de forma simétrica en los puntos de muestreo referencia de Ojo Guareña: todas las muestras de invierno han mostrado un elevado índice de saturación de CO_2 , mientras que sus niveles de concentración descendieron el resto del año. Dicha evolución temporal se ha observado en el agua del *recorrido habitual* de la cavidad principal, Palomera.

Dado el gran aislamiento de la cavidad de la mayoría de las variaciones climáticas que suceden en el exterior, ciclos diarios y estacionales, en la cueva sólo se reflejan de forma muy atenuada. En el interior puede ocurrir un ligero cambio de temperatura a lo largo del ciclo anual, un aumento o disminución de los caudales y el nivel freático, aunque sin disminuir la humedad relativa del aire como en el exterior y sin llegar a secarse por completo el agua embalsada en la cavidad y pueden existir

pequeños cambios en la composición del agua derivados de la actividad de la biota de superficie y edáfica.

Los análisis físico-químicos en los puntos de referencia de la cavidad principal, realizados a lo largo de un ciclo anual, indican que en algunos casos existe una mayor variación temporal - dentro de un mismo punto de muestreo, en función de las fechas- que una heterogeneidad espacial -entre las diferentes localizaciones y en un mismo instante-.

En una comparación entre dos hábitat distintos, los goteos y las marmitas rellenas mediante goteos, Pipan *et al.* (2006b) estudiaron 14 factores físico-químicos para determinar sus diferencias en seis cuevas eslovenas. En su estudio, concluyen que los factores determinantes en los goteos son el espesor de calizas hasta la superficie exterior (potencia de caliza) y la concentración de algunos iones: sodio, nitrato y potasio. En el caso de las marmitas de agua, encuentran que son más características las siguientes variables físicas: pH, temperatura, volumen embalsado, conductividad y la potencia de calizas.

En el *recorrido ocasional* de Palomera se da una ligera diferenciación de las muestras en función de la naturaleza de los charcos de origen, pero la mayor segregación del conjunto viene dada por la situación espacial. Cuando se analizan juntos los datos de físico-química del agua del *recorrido habitual*, hay una distinción clara de éstas últimas respecto de las muestras del *recorrido ocasional*. Con el cambio de escala se observa igualmente una heterogeneidad en el patrón espacial de la composición físico-química del agua, como apuntan en su estudio Pipan *et al.* (2005) sobre la distribución de la diversidad de la fauna. En este caso lo relacionan con la dinámica de circulación del agua subterránea en el epikarst.

Los estudios enfocados en el agua presente en el epikarst son muy escasos y se centran principalmente en el estudio taxonómico de las especies subterráneas que los habitan. Sería interesante ampliar el estudio de la composición físico-química del agua durante uno o varios ciclos anuales completos a pequeña y mediana escala, y en este caso concreto de Ojo Guareña, se podría ver si hay un cambio espacial real en los patrones de la composición del agua, y si varía del mismo modo en distintos puntos del epikarst, ya que con datos puntuales en algunos sectores no ha habido posibilidad de hacer una comparación a escala temporal.

Las muestras de agua del *entorno* se diferencian bien en función de su procedencia, según el hábitat del que se han extraído. En los análisis de agrupamiento no se ha observado una separación de las mismas por su localización geográfica en el complejo kárstico, sino que se forman conjuntos discretos según la naturaleza del sustrato, textura, composición y residencia del agua, que caracteriza los distintos ambientes analizados. Las cuevas, por ejemplo, en relación a los otros medios del *entorno* presentan bajas concentraciones de ión sulfato y elevados niveles de concentración de bicarbonato y

calcio en disolución. De modo opuesto, en el hiporreos domina el agua con valores bajos de conductividad y concentración de bicarbonato cálcico.

En el estudio desarrollado por Bakalowicz (1994), se han caracterizado diferentes tipos de aguas subterráneas en función de su procedencia:

- En una surgencia del Pirineo Central se observa la presencia de agua proveniente de diferentes lugares:
 - a) agua retenida en el epikarst y sometida a evapotranspiración, que presenta concentraciones elevadas de CO_2 del metabolismo del suelo y de Cl^- y
 - b) agua almacenada en la zona freática del karst, en partes profundas del acuífero, sujeta a temperaturas más altas y reacciones químicas, como la oxidación sulfhídrica, por la que se producen iones sulfato, SO_4^{2-} .
- En agua hiporréica del Pirineo Central determinaron distintas composiciones, según las características hidrogeológicas:
 - a) áreas con composición del agua similar al agua superficial, que debe tener tiempos de residencia cortos en el hiporreos y/o presencia de un sedimento de baja disolución,
 - b) aguas con una elevada pCO_2 , con una marcada instauración, concentraciones elevadas de silicatos y bajas concentraciones de sulfatos, debidos a procesos de reducción, en acuíferos confinados, zonas con poca permeabilidad y con tiempos de residencia prolongados, y
 - c) zonas que presentan un incremento en la concentración de silicatos y Na^+ , que caracteriza flujos en terrenos de permeabilidad media, acuíferos no confinados.
- En las aguas de un karst de Noruega, se encontró una variación espacial en los factores físico-químicos del agua de cuevas, similar al observado en Ojo Guareña. En el complejo kárstico burgalés se aprecia un patrón espacial determinado por las concentraciones de los iones potasio, sulfato y cloro. En el karst noruego se caracterizó el agua en función de la concentración de los iones calcio y bicarbonato, del contenido en materia orgánica y de la naturaleza del agua, en los siguientes tipos principales:
 - a) agua de infiltración con elevada concentración de ambos iones y tiempo de residencia prolongado en el karst,
 - b) agua con una baja concentración en Ca^{2+} y HCO_3^- , procedente de aguas superficiales de ríos y de un lago, con cortos tiempos de residencia en el karst y
 - c) agua rica en CO_2 y con elevados contenidos en materia orgánica, proveniente de goteos y aguas superficiales.

En cueva Palomera y el conjunto de las cavidades, en general, el agua presenta unos valores medios de concentración en calcio y bicarbonato, por debajo de los niveles encontrados en las

surgencias y freático y algo superior a los de ambientes hiporréico. Esto denota que en la cueva Palomera el agua tiene periodos de residencia moderados.

El agua de los dos pozos -freático profundo- estudiados y de las surgencias muestreadas tiene elevadas concentraciones medias de bicarbonato y de calcio, lo que indica un tiempo de residencia relativamente elevado en el karst. El agua de las cuevas tiene concentraciones algo más bajas de bicarbonato y otros iones. Y, en último lugar, se encuentran las aguas del medio hiporréico y freático superficial con las concentraciones más bajas de bicarbonatos y otros iones, que desvelan un desagüe rápido ya que están estrechamente ligadas a los ríos epigeos. Éstas son las aguas de permanencia más breve en el interior del karst entre todas las aguas estudiadas. De acuerdo con las observaciones de Bakalowicz (1994), el agua que alcanza niveles más profundos en el karst, tiene una mayor concentración de sulfatos. En nuestro caso, las concentraciones medias más elevadas se han registrado en los pozos, seguidas por el agua de las surgencias y de la zona hiporréica.

En este sentido, en el Monumento Natural de Ojo Guareña, en los puntos del entorno de Palomera, queda pendiente un estudio temporal de la composición físico-química de sus aguas. En este estudio se han replicado los análisis en pocas estaciones de muestreo y en pocas ocasiones y por tanto no ha sido posible una comparación más detallada y exhaustiva en el plano temporal.

En el estudio de Bakalowicz (1994) destaca el agua de los pozos por su elevada concentración en sulfatos, debido a que está sometida a reacciones de oxidación a temperaturas más elevadas. En Ojo Guareña, sin embargo, no se observa esto. Las muestras de epifreático que se han tomado en las márgenes de los ríos, tienen una tasa elevada de renovación del agua por la gran influencia del medio hiporréico y las muestras del freático profundo, dos pozos, se encuentran en localizaciones que también deben estar sometidas a flujos de agua subterránea relativamente intensos:

- El pozo del chalet en Villabascos se encuentra en la zona donde se sume el río Guareña, en una de las zonas de recarga principales de la cueva.
- El pozo frente al Torcón se encuentra en la zona de resurgencia de las aguas subterráneas.

6.2. Sobre la fauna y su diversidad

El método empleado para obtener el grueso de las muestras ha sido el más utilizado en el estudio de la fauna del epikarst: un sencillo removido del sedimento de los charcos o gours, con una manga de mano, de tipo "planctón" adaptada a los medios subterráneos, que permite filtrar el agua con la fauna en suspensión que ha sido sacada del sustrato al ser este removido. Los datos obtenidos con este tipo de metodología, en algunos estudios apuntan a que se debe introducir un cierto sesgo en la captura de diferentes tipos de organismos subterráneos, dado que hay especies que son frecuentes en el epikarst y que se recogen generalmente por filtración de goteos, capturándose raramente en los charcos mediante un removido con manga. Se observan grandes variaciones en las capturas en función del tipo de fauna y del momento del muestreo. Esto indica la importancia que debe tener la morfología del

epikarst y el régimen hídrico, en cada caso concreto, a la hora de poder juzgar la eficacia de este tipo de muestreo. Por ejemplo, en el estudio de Pipan y Culver (2005) encontraron un género de copépodo que era habitante exclusivo de charcos, no aparecía en goteos -*Ectocyclops* Brady, 1904- de la cueva del Órgano, Virginia, EEUU, mientras que en otro estudio de copépodos (Pipan, 2005) se encontraron en varias cuevas del centro y suroeste de Eslovenia, con aparición similar en goteos y en charcos.

En Palomera no se ha detectado especie alguna que apareciera exclusivamente en los goteos. Sin embargo, sí hay un copépodo estigobio que se ha encontrado sólo en el agua de percolación y en sus charcos asociados, alimentados directamente por goteos. Se trata de un copépodo ciclopoide, *Speocyclops infernus*, que se ha aislado de muestras de las cuatro localizaciones del recorrido habitual que reciben la mayor influencia de agua de percolación: Gours de las Hojas -OG-08-, Sala Edelweiss de la Galería Principal -OG-09-, Granja de Ortiz en la entrada de la rampa Palomera -OG-14- y Sala del Enterramiento en la Galería Principal -OG-16-. En OG-08 Gours de las Hojas sólo se obtuvo mediante filtración directa de goteo o agua de percolación, mientras que en los tres lugares restantes se colectó por distintos métodos de muestreo: karaman, filtración de goteo o removido con manga. Anteriormente ha habido otros autores que han observado la afinidad de este copépodo por el epikarst -Stoch, 1988 y Pipan, 2005-, aunque excepcionalmente lo han encontrado en otros medios como las surgencias -Brancelj, 2001-.

También hay numerosas especies subterráneas que se han encontrado en los charcos, sin haberse registrado su presencia en los goteos, pertenecientes a diferentes grupos faunísticos: el Cnidario Hydridae, los turbelarios y el rotífero *Keratella* sp., cinco oligoquetos estigófilos de los ocho subterráneos encontrados en Palomera, los ácaros limnohalacáridos, cinco de los seis ostrácodos estigobios y estigófilos, siete de los nueve copépodos subterráneos, el anfípodo estigobio *Pseudoniphargus burgensis*, el isópodo estigófilo *Proasellus* cf. *ortizi* y tres de los cuatro batinélidos, de los cuales sólo ha aparecido en goteos el nuevo género de Bathynellidae, en la Granja de Ortiz -OG-14-.

De los charcos se han obtenido 36 especies subterráneas, todas las encontradas en Palomera: 16 estigobias y 20 estigófilas. En este tipo de hábitat se han utilizando diferentes métodos de muestreo: método de Karaman-Chappuis adaptado a las cuevas, trampas con cebo y removido con manga, aunque prácticamente todas las especies estigobias se han obtenido mediante removido con manga. Conviene señalar que ésta ha sido la técnica más utilizada en este medio con diferencia: 106 muestras de las 134 de charcos. Puede ser un método eficaz en la recolección de la fauna subterránea del epikarst, particularmente manifiesto en el complejo kárstico de Ojo Guareña y en otros estudios entre los que se encuentran los de Brancelj, 2002 y Pipan *et al.*, 2006b.

A pesar de los muestreos prolongados y repetidos en dos de los principales goteos de la cueva Palomera a lo largo del proyecto, no se ha obtenido el rendimiento tan elevado que se observa en otros estudios con la filtración directa de los goteos en Eslovenia -Brancelj, 2002, Pipan, 2004; Pipan *et al.*, 2006a- y EEUU -Pipan y Culver, 2005-. Quizás influye el régimen de lluvias diferente, o la estructura

del karst, que permita una menor evacuación de la fauna en Ojo Guareña y conlleve un retraso en la aparición de especies nuevas respecto de cuevas en otras regiones. Así, en Palomera se detecta una escasa aportación de los goteos a los registros faunísticos. A pesar de ello, sí se ha observado una importante proporción de estigobios: seis subterráneos estrictos entre ocho subterráneos *sensu lato* - 75%- hallados mediante filtración de goteos. Entre estos seis subterráneos estrictos, cuatro son crustáceos: dos copépodos ciclopoideos -*Graeteriella* (*Graeteriella*) *unisetigera* y *Speocyclops infernus*-, el isópodo *Stenasellus virei buchneri* y la nueva especie de Bathynellidae n.gen. n.sp.1. Sin embargo, en Palomera sólo se han encontrado goteos adecuados en cuatro localizaciones -en dos de ellas temporales y difusos- y el removido con manga cuenta con 34 emplazamientos. Hace falta tener referencia de más goteos y un número suficiente de réplicas para poder establecer diferencias significativas con otros medios.

Entre la fauna aislada en el *recorrido habitual* de Palomera se observa una dominancia de los Crustacea, con más de un 60% de la representación en las muestras. Este hecho confirma la elevada diversidad de este grupo taxonómico en el medio subterráneo, como resalta en su estudio Sket, 1999b. Entre los crustáceos, destacan notablemente los copépodos, reflejado anteriormente en diversos estudios (Lescher-Moutoué, 1986; Rouch, 1986; Culver y Sket, 2000; Pipan, 2004; Galassi *et al.*, 2009a y b).

Los resultados denotan que en el epikarst predomina la fauna estigobia entre las poblaciones presentes, concretamente los crustáceos estigobios, más que entre los habitantes de los charcos de las galerías. Así lo observan también Pipan, Culver y colaboradores en los diversos estudios publicados sobre la investigación de esta franja del karst: Culver y Sket, 2000; Culver *et al.*, 2003; Pipan y Brancelj, 2004; Hobbs III, 2005; Pipan, 2005, entre otros. En los charcos observan una fauna más generalista, con un índice mayor de especies estigófilas y estigoxenas. Este hecho se intuye que pueda ser consecuencia de la influencia de grandes caudales de agua superficial que posteriormente forman ríos subterráneos o que originan la subida del nivel freático, e inundan temporalmente las galerías de la cavidad, total o parcialmente. Dichos caudales tienen la capacidad de transportar poblaciones desde ambientes epigeos hacia el medio hipogeo y dejar establecidos representantes de distintas especies al volver a descender el nivel del agua, algunas de las cuales procederán de la zona epigea y engrosan el registro de estigófilos y estigoxenos.

Dentro del *recorrido habitual* de Ojo Guareña se encuentran las ubicaciones con mayor diversidad de especies subterráneas registrada: OG-10 Gours de las Hojas -suma catorce especies subterráneas *sensu lato*, entre estigobios y estigófilos-, OG-14 Granja de Ortiz -once especies subterráneas *s.l.*- y OG-02 Maccaroni en Museo de Cera -diez especies subterráneas *s.l.*-, son las tres localizaciones que superan o igualan el número de 10 especies subterráneas. A continuación se presentan OG-08 Gours de las Hojas -nueve especies subterráneas *s.l.*-, OG-07 Gours de las Hojas y OG-09 Sala Edelweiss -ambas con ocho subterráneos *s.l.*- y OG-12 Galería Italianos -siete subterráneos *s.l.*-.

La cueva Palomera y el *entorno* tienen en común en sus poblaciones de fauna subterránea una proporción elevada de crustáceos, en primer lugar y de oligoquetos, en segundo lugar, como se ha observado a nivel mundial (Danielopol y Hartman, 1986; Lescher-Moutoué, 1986 y Boxshall y Dafaye, 2008). Al igual que en la cavidad principal, las localizaciones colindantes tienen una presencia notoria de ostrácodos y oligoquetos, con especial énfasis en la fauna estigófila.

No obstante, lo que aporta una verdadera identidad subterránea es la cantidad total y proporcional de estigobios, de modo que las localizaciones que tienen mayores cifras son: OG-09 y OG-14, ambas con seis especies estigobias registradas y OG-08, con cinco especies subterráneas estrictas. También conviene señalar que estos son los tres puntos en los que se han tomado más réplicas de muestras biológicas: 28 réplicas en OG-09 y 24 en cada una de las dos localizaciones de OG-08 y OG-14. Hay situaciones muy contrarias en que destacan los resultados obtenidos: dos lugares con una incidencia relativamente elevada de subterráneos estrictos (OG-02, con sólo tres muestras y 2 estigobios y OG-16, con cuatro muestras y 3 estigobios) y opuestamente OG-12, que a pesar de acumular 14 muestras no ha podido contar con estigobio alguno.

En el conjunto de cueva Palomera, incluyendo la resurgencia de la Torcona, se cuenta con la presencia de 21 taxones estigobios -17 especies de los muestreos recientes detallados en este trabajo y otras 4 citadas previo a este estudio-. De los veintidós subterráneos estrictos hallados en Palomera, sólo siete -5 de ellos crustáceos- se han encontrado en cavidades del *entorno* y un octavo taxón en un hábitat del *entorno* que no es cueva, en total 8 coincidencias entre Palomera y el *entorno*. Los siete taxones en común con cuevas del *entorno* son: 1 gasterópodo hidróbido, 1 ácaro limnohalacárido, 2 ostrácodos candónidos, 1 isópodo estenasélido y 2 sincáridos batineláceos. El octavo taxón en común con un hábitat distinto que las cuevas es un copépodo parastenocárido, hallado en el punto 1 del río Trueba. Con lo cual hay 8 taxones compartidos entre Palomera y el *entorno* y 13 taxones exclusivos de la cavidad principal entre todos los subterráneos estrictos inventariados (21 estigobios de la propia cavidad principal y 39 del Monumento Natural).

En las cuevas del *entorno* hay 13 especies estigobias, cinco de las cuales han aparecido exclusivamente en dicho ambiente epikárstico y son crustáceos. Estos cinco crustáceos exclusivos no se han detectado en Palomera o en el resto de los ámbitos del *entorno*. El número absoluto y relativo de especies por muestra es menor en las cuevas. Sin embargo, si se considera la proporción de especies subterráneas sobre el total de especies aisladas, las cuevas son las que presentan la mayor proporción de subterráneos, casi la mitad de las especies. La proporción de estigobios es aproximadamente el triple que en el freático y en las surgencias y algo superior a la de la zona hiporréica, pero con menor diferencia.

En el hiporréico se han obtenido 15 especies estigobias, 9 de las cuales son exclusivas de dicho medio en todo el Monumento Natural -entre las 9 especies exclusivas, 5 son crustáceos-: 1 gasterópodo hidróbido, 1 oligoqueto tubificido, 2 ácaros hidracnélicos, 3 ostrácodos candónidos y 2 copéodos ciclópodos.

Estas diferencias espaciales en un karst, con una distribución muy desigual a nivel local, se ha observado también en otros estudios del epikarst: Gibert *et al.*, 1994b, Stoch, 1995, Brancelj, 2002, Pipan, 2005; des Châtelliers *et al.*, 2009; Galassi *et al.*, 2009a; Jürgen y Fuchs, 2009; Malard *et al.*, 2009; Culver y Pipan, 2011. Por tanto, no es de extrañar que en determinados puntos haya mayor concentración de un tipo de fauna, p.ej. fauna estigobia abundante en una localización, como se acaba de poner de manifiesto en referencia a Ojo Guareña. Aun así, existe un paralelismo extendido entre la riqueza de especies obtenida y el esfuerzo de muestreo -número de réplicas tomadas-.

En el *entorno* hay 26 especies estigobias, número muy elevado respecto de las 17 especies obtenidas en muestreos recientes de Palomera, considerando también que esta única cavidad suma casi el triple de muestras biológicas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el *entorno*, además de contar con el estudio de cuevas geográficamente más dispersas que las localizaciones de la cavidad principal, tiene muestras de otros tres ámbitos: surgencias y medios hiporréico y freático. Por otra parte, al tomar réplicas en Palomera se han tomado exactamente en la misma ubicación, mientras que las réplicas dentro de una misma cueva y localización de un río del *entorno* se han colectado en distintos puntos, distantes varios metros, con el fin de hacer una prospección más exhaustiva.

En estas circunstancias se puede explicar fácilmente la gran diversidad de especies en el *entorno*, puesto que se trata de un abanico más amplio de ambientes de distinta naturaleza, se alcanza una mayor extensión de terreno y existe una mayor distancia total y relativa entre todas las localizaciones de muestreo, ofreciendo la oportunidad de encontrar mayor número de comunidades que en una única cavidad, Palomera, a pesar de su gran desarrollo. Dicha relación existente entre la variedad de hábitat, su fragmentación y la diversidad de estigobios se ha manifestado en diferentes estudios, algunos desarrollados a partir del proyecto europeo PASCALIS, en bacterias y arqueobacterias -Griebler y Lueders, 2009-, así como la estigofauna: Dole-Olivier *et al.*, 2009a, Galassi *et al.*, 2009a; Stoch *et al.*, 2009.

En el presente estudio de distribución faunística no se ha observado una relación clara entre la localización de la fauna del epikarst y la concentración de compuestos iónicos procedentes de la meteorización de la roca. En otros estudios de fauna estigobia, en EEUU y Eslovenia -Pipan *et al.*, 2006a y 2006b- detectan la influencia de otros factores físico-químicos: la conductividad, temperatura o pH del agua, el nivel de recarga de la cavidad medida con el régimen de precipitaciones o el grado de percolación del agua en el interior de la cueva. En Lessinia, Norte de Italia, se ha observado una relación entre la distribución de las especies y algunos factores hidrogeológicos: pH, concentración de calcio y fragmentación de hábitat -Galassi *et al.*, 2009b-. En el Jura francés, se ha observado una relación entre el oxígeno disuelto y la distribución de las especies -Dole-Olivier *et al.*, 2009b-. En Virginia, EEUU, Pipan (2004) no encontró una influencia clara entre los factores físico-químicos (temperatura, conductividad, pH, oxígeno y tasa o régimen de percolación) y la diversidad de copépodos estigobios. Sí vio, en cambio, una relación entre el número de especímenes aislados y la tasa

de percolación, sin haberse observado otras relaciones significativas entre los factores físico-químicos y las comunidades de copépodos.

El caso de Ojo Guareña, entre los enclaves en que se ha realizado un seguimiento intensivo, cabe destacar una tendencia en dos grupos de hábitat según las condiciones ambientales y el contenido de fauna:

- 1- medios con saturación o próximos a la saturación de carbonatos, con una naturaleza permanente o donde, al menos, el agua está presente la mayor parte del año; con el fondo lodoso o mixto y contenidos relativamente elevados de materia orgánica, estos son los hábitat que albergan la mayor diversidad de fauna y de taxones estigobios,
- 2- medios temporales o permanentes, con una mineralización escasa, variaciones estacionales marcadas y menor contenido en materia orgánica, son los que poseen una menor riqueza en especies estigobias.

Por tanto, los lugares del complejo kárstico de Ojo Guareña que se han revelado como idóneos para la fauna estigobia son los charcos más estables en volumen de agua y mineralización, con menor pCO_2 y sobresaturados de carbonatos. Por contra, aquellos charcos con mayor fluctuación en el nivel de recarga, con un menor grado de mineralización y una menor saturación de anhídrido carbónico, parecen ser lugares menos adecuados para el establecimiento de la fauna acuática subterránea.

6.3. La diversidad faunística estigobia de la Península Ibérica en el conjunto de la fauna subterránea en Europa y en el Mundo

La cavidad principal de Ojo Guareña, con el inventario de especies subterráneas obtenido hasta la finalización del presente estudio, se posiciona entre los 15 lugares del Mundo en los cuales se ha hallado mayor número de crustáceos estigobios y entre los diez con mayor cantidad de fauna estigobia, tabla 6.3.a. Cuenta con 21 especies estigobias, de las cuales 14 son crustáceos. Por tanto, se trata de un punto caliente de diversidad *-hotspot-* de referencia mundial (Culver y Sket, 2000; Deharveng *et al.*, 2009). Además, si se consideran todas las muestras del Monumento Natural, hay inventariadas 39 especies estigobias, de las cuales 28 son crustáceos, todas ellas bajo una extensión kárstica de sólo 15 Km², en la cual se concentra la práctica totalidad de las muestras del proyecto.

Entre las 42 especies subterráneas halladas en Palomera, el grupo con mayor representación ha sido Crustacea Copepoda, el más numeroso entre los Crustacea subterráneos, con 32 especies -75% de los *taxa* subterráneos *s.l.*-, catorce de ellos estigobios -67% de los 21 estigobios de Palomera-.

Esta diversidad observada de los crustáceos en Ojo Guareña, 21 estigobios y 42 subterráneos *s.l.* en sentido amplio, es comparable con otros complejos kársticos del Mundo que se encuentran entre los más diversos, como el Sistema Baget Sainte - Catherine, con 24 especies estigobias, Cent-fons con 22 estigobios y el sistema resurgencia Sauve - río subterráneo Vidourle -20 estigobios-, los tres en Francia, Pester de la Movile en Rumanía -18 estigobios- y el resto de sistemas que aparecen en la tabla

6.2.a. La cueva de Ojo Guareña, por tanto, queda en décima categoría entre las cuevas del Mundo de mayor diversidad de especies estigobias conocidas, a pesar de que los estudios son muy recientes, concentrados en un espacio de tiempo breve y menos numerosos en ella que en las restantes analizadas.

Tabla 6.3.a. Comparación del número de especies estigobias del complejo kárstico de Ojo Guareña con otras áreas kársticas más diversas en especies estigobias de todo el Mundo. (Modificado de Culver y Sket, 2000).

Complejo Kárstico y localización	Total estigobios	Crustáceos estigobios
Postojna-Planina (Eslovenia)	48	26
Vjetrenica Jama (Bosnia-Herzegovina)	39	23
Cuevas Walsingham (Islas Bermudas)	37	29
Pozos F1 y P1 de Triadou (Francia)	34	28
Cueva Krizna (Eslovenia)	29	15
Cueva Logarcek (Eslovenia)	28	8
Surgencia de San Marcos (Texas, EEUU)	27	18
Sistema Baget Sainte - Catherine (Francia)	24	21
Cent-fons (Francia)	22	20
<u>Cueva de Palomera (España)</u>	<u>21</u>	<u>14</u>
Resurg. Sauve - Río subt. Vidourle (Francia)	20	14
Pestera de la Movile (Rumanía)	18	7
Grad, Cueva Grizna (Eslovenia)	17	15
Cueva del Buso della Rana (Italia)	15	14
Cueva Mammoth (Kentucky, EEUU)	15	11
Goueil di Her Reseau Trombe (France)	14	11
Cueva Shelta (Alabama, EEUU)	12	8

Los nueve parajes que superan en estigobios a Ojo Guareña están distribuidos en el área este de Norteamérica y en el Atlántico (cuevas anquihalinas en las Islas Bermudas, surgencia de San Marcos, Texas) y, especialmente, en el área perimediterránea de Europa: tres lugares en Eslovenia, entre los que destaca Postojna-Planina por ser el de mayor diversidad del Mundo, otros dos en la región sudoriental Francia y una cueva en Bosnia-Herzegovina.

Los sistemas con mayor diversidad de estigobios presentan una serie de peculiaridades que detallamos a continuación:

- Uno de los enclaves con mayor diversidad de estigobios se encuentra en las Islas Bermudas, las cuevas anquihalinas de Walsingham. Este tipo de ambiente en el que se entremezclan aguas saladas y dulces, al igual que en otros ecotonos, son muy propicios para encontrar una diversidad elevada y no es un hábitat idóneo para usar como punto de comparación directa. Aunque, de todos modos, se debe considerar

como referencia como un lugar con mayor potencial que las cuevas continentales, las cuales mantienen sus reservas hídricas gracias al influjo exclusivo de agua dulce.

- Pozos de Triadou, en Francia: del mismo modo que las cuevas de Walsingham, se trata de un enclave con diferencias respecto de Ojo Guareña: es un medio ecológico con menor influencia del ambiente epigeo y en cuyas poblaciones existe una mayor dominancia de los estigobios.
- También se cuenta con la referencia de los sistemas kársticos de Postojna-Planina - Eslovenia- y Baget-Sainte Catherine -Francia-. En ellos se han llevado a cabo estudios muy prolongados (Culver y Sket, 2000), más de 20 años en el Sistema francés por Rouch y colaboradores -Rouch y Danielopol, 1997- estudios desde los años 30 en Postojna-Planina (Pipan, 2005) por Kiefer (1930, 1931 y 1933) y Stammer (1932), posteriormente Brancelj a partir de los años 80 (1986 y 1987) y recientemente Pipan (Pipan 2005).
- Otro sistema kárstico es el de la cueva de Vjetrenica, cuya biología también se empezó a estudiar en los años 60 (Pretner, 1963; Sket, 1999b).

El número de estigobios encontrados en algunas regiones con gran diversidad pueden llegar a alcanzar, o superar, la riqueza de especies que hay en el medio epigeo. Así se ha observado en el karst esloveno con los crustáceos, ya que si se consideran todos los invertebrados, junto con las formas larvarias de insectos, el número de especies que existe en superficie es habitualmente de un orden de magnitud superior, unas diez veces mayor (Sket, 1999b). El elevado número de especies de crustáceos estigobios se puede mantener debido a que tienen unas áreas de distribución muy restringidas, en comparación con las especies epigeas. El ejemplo mejor conocido es el de los copépodos ciclopoides, entre cuyos representantes epigeos la mayoría se distribuyen por gran parte de las regiones biogeográficas de Illies (1978) y numerosas especies se albergan fuera de los límites del continente europeo. Sin embargo, enfocando a los subterráneos ocurre al contrario: el 80% de los copépodos estigobios se limitan a una de las regiones biogeográficas y muchos se han encontrado en una única localidad (Sket, 1999b).

Si en Ojo Guareña se prolongaran los estudios durante una o dos décadas más, como en otros trabajos referenciados, se considera que se podrían llegar a alcanzar, e incluso superar fácilmente las cifras de los sistemas kársticos más diversos en fauna estigobia, ya que en este estudio del complejo kárstico de Burgos prácticamente se contabilizan sólo los muestreos sistemáticos llevados a cabo durante tres años, además de algún dato muy puntual en los años 80 y 90, en cuanto a la fauna acuática subterránea. Las curvas de saturación de especies (ver apartado 5.5) obtenidas muestran que todavía quedan numerosas especies por descubrir en los lugares estudiados y, por supuesto, se encontrarían más si se ampliaran las áreas de estudio dentro de la cavidad, más allá de los 3 Km del *recorrido habitual* de Palomera.

También se ha planteado la dificultad que supone capturar este tipo de fauna con una densidad baja (Hancock y Boulton, 2009) y la rareza habitual de las especies estigobias (Eberhard *et al.*, 2009). En el recorrido habitual de Palomera, la localización OG-10 es la que ha ofrecido una fauna con mayor número de repeticiones en aparición (10 taxones hallados en más de una ocasión), entre 26 identificados de 17 muestras. El resto de localizaciones ha presentado una fauna menos persistente. Esta rareza de la fauna subterránea puede originar que las curvas de tendencia presenten carencias y estén subestimando la capacidad de carga que tiene realmente el epikarst (Hancock y Boulton, 2009; Eberhard *et al.*, 2009; Gibert *et al.*, 2009) y si se prolongan los estudios, se puede esperar un incremento mayor que el número de descubrimientos esperados de estigobios.

Si se añaden los datos de las cuevas del *entorno*, en el Monumento Natural de Ojo Guareña se han encontrado 39 especies estigobias, de las cuales 25 son crustáceos, con lo que en la actualidad se situaría en segunda categoría entre los lugares de mayor diversidad de especies acuáticas subterráneas, *sensu stricto*. Además, en Ojo Guareña quedan por determinar los grupos faunísticos de Nematoda y Crustacea Cladocera, con los que fácilmente se podrá incrementar la lista de estigobios del Monumento Natural, sin requerirse más trabajo de campo. En 1993 se había hecho una primera evaluación del conocimiento de la fauna en la cavidad (Camacho, 1994) y con el trabajo de campo desarrollado en sólo tres años, el número de especies conocidas en el Complejo prácticamente se ha cuadruplicado. Algunos grupos se han encontrado por primera vez: Hydra, Mollusca Bivalvia y Tardigrada, así como la determinación de numerosas especies, algunas de ellas nuevas para la ciencia, entre los que se encuentran 13 estigobios -2 oligoquetos, 5 ostrácodos, 3 copépodos y 3 batinélidos- y otras epigeas.

Pipan (2003) muestreó cuevas del sistema Postojna-Planina, goteos y charcos como hiciera posteriormente en colaboración con Culver -Pipan y Culver (2005)- y encontró 23 especies de copépodos, diez de ellas en charcos y goteos, cinco sólo en goteos y ocho sólo en charcos. La mayor diferencia entre estos dos estudios es la presencia de determinadas especies en charcos, que no se encontraron en los goteos. Las razones no están claras, se sabe que las cuevas estudiadas en Eslovenia tenían menos fauna que en Virginia del Oeste, EEUU, aunque no se dispone del dato de los índices de percolación en Eslovenia, ni en Ojo Guareña. Dicho factor resulta determinante en el estudio de las cuevas de Virginia.

En el plano temporal, en general la fauna no aparece de forma repetida en distintas fechas y en una misma localización de muestreo: el caso más favorable es para OG-10, en el que se repiten diez taxones entre los 26 identificados en 17 muestras. Los enclaves restantes tienen una fauna menos persistente, incluso en localizaciones como OG-14, con 24 muestras; es la segunda localización con más réplicas y es la primera en abundancia en especies totales y estigobias, sin embargo tiene una minoría de taxones que hayan aparecido en más de una ocasión. Por tanto, la fauna cavernícola no es tan estable como cabría esperar ante la relativa estabilidad reinante en su ambiente. Esta presencia muy escasa de algunas especies, la aparición en manchas muy localizadas de otras especies y la presencia habitual de un número limitado de crustáceos ya se ha observado en otros estudios: Danielopol y

Pospisil, 2001 en Austria; Pipan, 2005 en Estados Unidos; Brancelj, 2002 y Pipan *et al.*, 2006b en Eslovenia; Deharveng *et al.*, 2009, Jürgen y Fuchs, 2009 y Michel *et al.*, 2009 en Europa. En ocasiones han dado explicación a la dispersión de las especies o de las poblaciones, por competencia -Levins y Culver, 1971-, o por ocupación de localizaciones transitorias, como es el caso de la fauna epikárstica -Pipan, 2005, Pipan *et al.*, 2006a-. La fauna hipogea se ha observado en alguna ocasión -p.e. Sket, 1999a- más diversa que la fauna epigea a gran escala, a nivel regional, comprensible sólo a partir de dichas distribuciones muy discretas y reducidas de numerosas especies subterráneas (Dole-Olivier *et al.*, 2009a; Michel *et al.*, 2009). Estas circunstancias conducen a cuestionarse si la distribución de la fauna está correlacionada significativamente con las pequeñas variaciones en las condiciones físico-químicas, como cabría esperar.

Según se ha comentado anteriormente, las localizaciones estudiadas de un modo más intensivo en el presente trabajo, se han encontrado dos tipos de hábitat según la preferencia de la fauna acuática subterránea:

- lugares con saturación, o próximos a la saturación de carbonatos, permanentes o semi-permanentes, con el fondo lodoso o mixto y con altos contenidos de materia orgánica: resultan más propicios para la fauna estigobia de Ojo Guareña y
- ambientes que pueden ser más temporales -estiaje-, con una mineralización escasa y variaciones estacionales marcadas, que presentan menor cantidad de estigobios.

Sin embargo, no se ha observado una relación clara entre la localización de la fauna del epikarst y la concentración de compuestos iónicos procedentes de la meteorización de la roca. Al contrario, en otros estudios de fauna estigobia, en EEUU y Eslovenia -Pipan *et al.*, 2006a y b-, detectan la influencia directa de varios factores físico-químicos: la conductividad, la temperatura del agua, el pH del agua, o el nivel de recarga de la cavidad medida con el régimen de precipitaciones o el grado de percolación del agua en el interior de la cueva.

En el *entorno*, a pesar de la distribución de los datos observada mediante el análisis descriptivo, en apariencia regida por el tipo de ambiente, tras el estudio estadístico no se observa dicha influencia. Por lo tanto, las preferencias observadas de la fauna del *entorno* por uno u otro tipo de medio pueden deberse a la influencia de alguna variable no considerada en este estudio, como por ejemplo: la textura del sedimento, el tamaño de poro, el aislamiento respecto del medio epigeo, la tasa de percolación o la fragmentación de hábitat. Así, Brancelj (2000 y 2002) observa preferencia de algunos copépodos (*Moraira*, *Morairopsis* y *Phyllognathopus*) por lugares ricos en materia orgánica y charcos con acumulación de sedimentos, algo que no se ha medido empíricamente en el *entorno* de Palomera. El mismo autor encuentra relación entre la precipitación diaria y el número de taxones -Brancelj, 2002-, a la vez que observa la escasez de copépodos por muestra (habitualmente una o dos especies por cada muestra). Debido a que los charcos muestreados ofrecieron un número muy escaso de copépodos con sacos ovígeros y de formas larvarias -*nauplius*-, dedujeron que el hábitat de estos copépodos no lo constituyen dichos charcos. Son masas de agua que ocupan de forma transitoria, debiendo ser el

epikarst y/o partes inferiores del karst, las ubicaciones más idóneas en las que permanecen. Esto debe ser así, a pesar de que algunas especies ponen sus huevos en el sustrato, como se sabe desde mediados los años 60 de algunas especies de los copépodos del género *Moraira* -Borutzky, 1964-. Sin embargo, en el caso de los isópodos *Stenasellus* y *Proasellus*, se han encontrado hembras ovígeras y numerosas formas inmaduras. Se podrían establecer en las partes superiores del epikarst, ya que se han aislado del agua de goteo, pero parece que encuentran un ambiente idóneo en los charcos de la cavidad, donde se ha hallado la mayoría de los ejemplares y, en el caso de *Stenasellus virei buchneri*, en todas las visitas realizadas a OG-14 Palomera. Para comprobar este hecho se debería hacer un experimento certero de marcaje y recaptura. Se probó dicho experimento con unos isópodos, intentando marcarlos con tinta de color resistente a la humedad, pero al ser una fauna acuática y de pequeño tamaño, es muy difícil. Para que se impregnara la tinta correctamente se secaba la cutícula, teniendo que someterlos a un elevado estrés y el método no resultaba efectivo. Al ser de tamaño muy reducido, se ha obviado la técnica de marcaje mediante sección de un fragmento de la cutícula.

Pipan *et al.*, 2006a no encuentran una relación clara entre la distribución de las especies y algunos factores físico-químicos, como la temperatura o el pH del agua. Sin embargo, encuentran una preferencia de algunos copépodos, como *Parastenocaris*, por hábitat con corrientes intensas de percolación y concentración elevada de oxígeno disuelto. Determinadas especies pertenecientes a los géneros *Rheocamptus*, *Parastenocaris*, *Moraira* y *Bryocamptus*, también parecen tener afinidad por potencias gruesas de caliza, aparte de la elevada concentración de oxígeno y estar condicionadas por la tasa de percolación.

En nuestro estudio se han procesado más de 5.000 individuos, pertenecientes a más de 150 especies, obtenidos de 241 muestras -175 de la cavidad principal y 66 de su entorno-. Se ha observado que la mayoría de las especies aparecen en un solo lugar, incluso varias se han detectado en una única muestra durante todo el estudio. Dicha situación dificulta el establecimiento de unos patrones de distribución generales y definitivos para el conjunto de la fauna. La rareza, especificidad y endemismo es un hecho que se ha detectado comúnmente en la fauna estigobia: Deharveng *et al.*, 2009; Dole-Olivier *et al.*, 2009a; Eberhard *et al.*, 2009; Galassi *et al.*, 2009b; Gibert *et al.*, 2009; Hancock y Boulton, 2009; Hans y Fuchs, 2009; Michel *et al.*, 2009.

En referencia a los crustáceos copépodos, hay diversos estudios que encuentran una dominancia de los harpacticoides en el ambiente subterráneo (Jersabek *et al.*, 2001, Brancelj, 2002, Pipan *et al.*, 2006b), además de presentar -en conjunto- una mayor adaptación al medio bentónico e intersticial, puesto que son buenos cavadores y reptadores, frente a una abundancia relativamente menor de los ciclopoideos en el medio hipogeo (Dole-Olivier *et al.*, 2000), los cuales tienen la habilidad natatoria desarrollada. En cuanto a la abundancia de ambos grupos, en nuestro estudio se ha determinado una situación inversa, siendo la diversidad de especies de copépodos ciclopoideos superior a la de los

harpacticoides, tanto en la cavidad principal como en el *entorno*, en especies totales, así como considerando exclusivamente las especies subterráneas.

En concreto, en la cavidad principal -Palomera-, destaca esta particularidad, habiéndose determinado un número muy superior de copépodos ciclopoides (14 especies pertenecientes a ocho géneros) que el de copépodos harpacticoides (cinco especies de cuatro géneros). Además, entre los ciclopoides hay una elevada proporción de subterráneos: tres estigobios de géneros distintos -*Acanthocyclops*, *Graeteriella* y *Speocyclops*- y cinco más estigófilos del género *Diacyclops* (*D. bicuspidatus*, *D. bicuspidatus odessanus*, *D. crassicaudis*, *D. languidus* y *D. nanus*), mientras que de los harpacticoides sólo se ha determinado un parastenocárido estigobio del género *Parastenocaris* y ninguno estigófilo.

Procedentes del *entorno* se han identificado 16 copépodos ciclopoides, entre ellos cinco estigobios de tres géneros distintos -*Acanthocyclops*, *Diacyclops* y *Speocyclops*- y un subterráneo facultativo o estigófilo, mientras que copépodos harpacticoides han sido 12 especies, con sólo dos subterráneos, pertenecientes a sendos géneros: *Parastenocaris* y *Bryocamptus*.

Entre los crustáceos identificados de la cavidad principal, hay siete estigobios que son nuevos para la ciencia y endémicos de esta área, dos especies de ostrácodos, un copépodo ciclopode y cuatro sincáridos batinélceos (dos de la familia Bathynellidae, *Vejdosvkybathynella edelweiss* Camacho, 2007 y un nuevo género y las otras dos de la familia Parabathynellidae, *Iberobathynella guarenensis* Camacho, 2003 e *Iberobathynella burgalensis* Camacho, 2005). De los microcrustáceos estigobios identificados en el *entorno*, hay nueve nuevas especies consideradas endémicas y nuevas para la ciencia: 5 ostrácodos, 2 copépodos ciclopoides y 2 sincáridos batinélidos. Presentan en común tres especies nuevas y endémicas, 2 ostrácodos *Pseudocandona* n.sp.2 y Candoninae gen. sp.5 además de dos sincáridos, uno de la familia Bathynellidae n.gen. n.sp.1 y otro de la familia Parabathynellidae, *Iberobathynella cornejoensis* Camacho, 2005.

El isópodo Stenasellidae *Stenasellus virei buchneri* se ha encontrado de modo permanente en la cavidad principal, desde las primeras exploraciones bioespeleológicas en Ojo Guareña realizadas previas a este estudio. Se trata de una especie cuyo ambiente preferente es el cavernícola *sensu stricto*. Se establece en la zona vadosa, y se ha encontrado en la cueva Palomera, así como en otras localidades en las proximidades de la Cornisa Cantábrica. Los charcos en los que se establece, tienen sedimento abundante y un aporte notable de detritos. Este tipo de hábitat corresponde con la descripción de los hábitos de la especie por Guy Magniez, en su publicación de 1974, donde explica que estos isópodos excavan galerías en el sedimento. Se desconoce su función exacta y se barajan las posibilidades de que sirvan para búsqueda de refugio frente a posibles depredadores, o para el resguardo de la futura descendencia que cargan las hembras grávidas.

El Asellidae identificado del género *Proasellus*, por las claves que aparecen en la publicación de Magniez (1968), parece pertenecer a la especie *Proasellus ortizi*, en cuya descripción cita su

presencia en la Merindad de Sotoscueva, entre otras localidades. Sin embargo no coinciden exactamente los caracteres de identificación que indican Henry y Magniez (1992): el número de espinas en el exópodo del cuarto pleópodo -pl. IV- del macho es algo superior en los ejemplares encontrados en estos muestreos de la cueva, sobre lo que refleja en la descripción. Presentan un número intermedio de sedas (4-7) entre las que describe en el caso de *Proasellus ortizi* (4 sedas) y para *Proasellus ebrensis* (6-10 sedas). La especie descrita por Henry y Magniez (1992) la encontraron en la surgencia de La Torcona y en la cueva de Ojo Guareña. Las diferencias entre especies ocasionalmente son muy sutiles. Pero en este caso la generalidad de los caracteres morfológicos coincide y la única diferencia destacable en los caracteres taxonómicos es el número de sedas del exópodo del pleópodo IV. Podría deberse a un gradiente de caracteres que no se hubiera observado durante la descripción original y colectas posteriores, por tratarse de poblaciones distintas, o por pérdida de algunas estructuras en algunos ejemplares durante la toma de la muestra y la manipulación de la fauna, puesto que las sedas cuticulares son estructuras frágiles. Dadas las razones expuestas y puesto que comparten una misma área geográfica, a falta de una confirmación mediante técnicas de análisis molecular de las diferentes poblaciones, se considera que la especie descrita por Henry y Magniez es la misma especie que hemos aislado del agua de la cueva Palomera -OG-02, OG-12, OG-14 y OG-36-, además de la surgencia de la Mea y la Fuente de los Avellanos.

Entre los anfípodos se han detectado tres familias: anfípodos epigeos de la familia Gammaridae y otros subterráneos de las familias Pseudoniphargidae y Niphargidae.

Dentro de Palomera se han encontrado anfípodos Pseudoniphargidae en dos lugares del *recorrido ocasional*, en OG-45 y OG-46, pertenecientes a la especie *Pseudoniphargus burgensis*. Las especies del norte de España del mismo género están descritas por Notenboom (1986). En su otro trabajo de 1990 señala que el género tiene tres franjas de distribución, localizadas en el norte de la Península, en el oeste, en Portugal y la franja meridional, al sur del Guadalquivir y del Júcar, a la vez que anota su extraña ausencia en el noreste, entre Barcelona y Valencia, donde se han registrado otros géneros de anfípodos e isópodos subterráneos ampliamente distribuidos. El género *Pseudoniphargus* muestra una dispersión de diferentes y numerosos endemismos en sus áreas de distribución señaladas. Así se considera que la especie de Ojo Guareña es un endemismo local, cuyo hábitat incluso puede estar limitado a un sector de este complejo kárstico.

Los Niphargidae están representados por cinco individuos de un pozo que hay frente al Torcón y de los ríos Nela y Trema, todos ellos pertenecientes una especie del género *Haploginglymus*, sin determinar por ausencia de machos adultos con la cutícula en buen estado de conservación. Hasta la fecha se conocen cuatro especies de este género endémico de la Península Ibérica (Notenboom, 1988-1990, Pretus y Sabater, 1990), que está muy extendido. Se corroboran los datos que ofrece Notenboom en su trabajo de 1990, en el que expone que los anfípodos del género *Haploginglymus* no cohabitan con especies de *Pseudoniphargus* y que tienen preferencia por surgencias o medio hiporréico. En nuestro

estudio se hace patente este hecho puesto que el género *Pseudoniphargus* aparece en el complejo kárstico donde estaba registrado anteriormente, en la cavidad principal, mientras que la especie de *Haploginglymus* habita otros puntos del entorno, en localizaciones de hiporréico y freático profundo en las que no se ha hallado el género *Pseudoniphargus*.

El caso de los sincáridos batineláceos, habitantes exclusivos de aguas subterráneas, encontrados en el Monumento es único, 5 especies presentes en un área tan pequeña no se ha visto en ninguna otra parte del mundo. Tres de las especies pertenecen a la familia Parabathynellidae: *Iberobathynella guarenensis*, encontrada sólo en el río de los Erizos en la cavidad principal; *Iberobathynella burgalensis*, encontrada únicamente en OG53 e *Iberobathynella cornejoensis* encontrada en el freático del río Trema antes de sumirse en el pueblo de Cornejo, así como en Cueva Redonda y Cueva La Mina. Las otras dos especies encontradas pertenecen a la familia Bathynellidae: *Vejdovskybathynella edelweiss* se ha encontrado en OG01, OG09, OG16 y río de los Erizos en la cavidad principal, así como en la Sima Huesos, Cueva Racino, Cueva Redonda, Sima Jaime, Prado Vargas y Fuente Cubío en el entorno; la otra especie, aún sin describir y probablemente de un nuevo género, se ha encontrado en OG14, en La Torcona y en Prado Vargas. Además los últimos trabajos realizados con técnicas moleculares, revelan la presencia de especies crípticas (Camacho et al., 2011 y 2012) entre las diferentes poblaciones de batinelas de Ojo Guareña. Las poblaciones de la especie *Vejdovskybathynella edelweiss* del río de los Erizos y de Cueva Redonda son diferentes entre si y a su vez ambas diferentes del resto de poblaciones de esta especie en el Monumento, con divergencias genéticas muy altas en el gen mitocondrial citocromo c oxidasa I (COI I), demasiado altas para ser solo valoradas como variabilidad interpoblacional (Camacho et al., 2011). Aunque morfológicamente todas las poblaciones habían sido identificadas como una única especie, estos primeros análisis moleculares revelan la presencia de probablemente hasta tres especies distintas. La presencia de especies crípticas entre otros crustáceos subterráneos como anfípodos ya había sido revelada recientemente (Finston et al., 2007). La diversidad en crustáceos estigobios se infravalora cuando se usan sólo caracteres morfológicos (Proudlove & Wood, 2003) ya que al estudiar secuencias de ADN continuamente se están descubriendo especies crípticas (Guzik et al., 2008; Jarman & Elliot, 2000; Finston & Johnson, 2004; Lefébure et al., 2006; Trontelj et al., 2009). En la fauna subterránea la evolución convergente de caracteres morfológicos que está asociada con las adaptaciones al ambiente (Jones et al., 1992; Kane et al., 1994) confunde la verdadera descendencia filética por la retención de rasgos primitivos y la pérdida de características complejas que conlleva (Guzik et al., 2008). El aislamiento del medio y las fuertes presiones de selección inherentes a la adopción de la vida subterránea pueden conducir en direcciones opuestas, dando lugar a alta divergencia genética y a convergencia morfológica, es decir escasa diferencia morfológica (Lefébure et al., 2006; Lefébure et al., 2007) y esto conduce a que especies diferentes se interpreten como similares dada la similitud morfológica. Con esto queremos poner de manifiesto que es seguro que estas altas cifras de diversidad subterránea en el Monumento Natural de Ojo Guareña aun se verán incrementadas cuando se revelen nuevas especies, mediante aplicación de técnicas moleculares

a las diferentes poblaciones de los distintos grupos de crustáceos hallados, que hasta la fecha han quedado enmascaradas al ser estudiadas sólo desde la perspectiva morfológica.

En el Monumento Natural se han determinado 39 especies subterráneas estrictas repartidas de forma desigual en el conjunto del área de estudio. Dentro de la cavidad principal se cuenta con la presencia de 21 estigobios de los 39 del Monumento, además de otros 21 estigófilos, lo que suman un total de 42 especies subterráneas *s.l.* en Palomera. En el *entorno* se han hallado 26 especies estigobias del total de 36 del Complejo. Así, en el *entorno* se han obtenido cinco estigobios más que en la cavidad principal.

En el conjunto del complejo hay 26 especies estigobias que se consideran endemismos, incluyendo las especies que son nuevas para la ciencia. La mayoría son endémicas de la propia cueva, aunque algunas lo son de la comarca o del área peninsular. En la cavidad principal se han encontrado 14 de dichos endemismos. Por tanto, las restantes 12, casi la mitad de las especies entre las 26 endémicas, se han encontrado exclusivamente en muestras del *entorno*.

En Palomera se han hallado 45 especies, entre ellas 13 estigobias y 9 estigófilas, de las que no existe registro en el *entorno*. Por otro lado, hay numerosas especies que se han encontrado exclusivamente en un medio ecológico del *entorno*: 11 especies aparecidas sólo en cuevas, 16 aisladas de muestras de surgencias, 29 especies en el medio hiporréico y 13 especies en el nivel freático. Entre todas estas especies exclusivas de un tipo de ambiente, 17 son estigobias y 3 estigófilas.

Precisamente, la fauna acuática subterránea se caracteriza por la abundancia y la composición de microcrustáceos, principalmente en base a los copépodos y ostrácodos (Botosaneanu, 1986, Dole-Olivier *et al.*, 2000, Ferreira *et al.*, 2007). Como se ha visto repetidamente, existen numerosas especies de crustáceos en el Complejo.

Los resultados de nuestro estudio muestran el hiporréico como el medio con mayor número de especies totales, 64 subterráneos más estigoxenos, así como de fauna subterránea *s.l.* y especies de aparición exclusiva (11 especies subterráneas *s.l.*). En cuanto a las especies estigobias, siguen al medio hiporréico el freático y las cuevas, con igual densidad de especies estigobias por muestra y las surgencias, en último lugar. Los manantiales, sin embargo tienen más subterráneos *s.l.* (estigobios más estigófilos) por muestra, que las cuevas y el medio freático. Esto pone de manifiesto que a mayor conectividad con el ambiente epigeo, existe una mayor densidad de fauna total y subterránea *s.l.*, con el hiporréico y las surgencias en primer lugar. La parte más superficial del medio hiporréico supone un ecotono entre los hábitat acuáticos estigobio y epigeo y es un punto en el que se da un intercambio permanente en ambos sentidos, en función del régimen hídrico. Los ecotonos son medios propicios para albergar la mayor diversidad (Décamp y Naiman, 1990; Gibert, 1991; Galassi *et al.*, 2009a; Jürgen y

Fuchs, 2009). Dicha conectividad con el medio epigeo conlleva una mayor disponibilidad de alimento que contribuye al sostenimiento de las poblaciones.

Estos datos confirman la hipótesis de la distribución en parches, que en el medio subterráneo se presenta de modo muy acentuado tanto en organismos procariotas (Griebler y Mösslacher, 2003), como en invertebrados estigobios (Deharveng *et al.*, 2009; Dole-Olivier *et al.*, 2009a; Galassi *et al.*, 2009a) dado lo fragmentado del hábitat que ocupan.

En comparación con otros trabajos del mismo ámbito de estudio, como el llevado a cabo por Tanja Pipan (2005) en Eslovenia, entre los que albergan mayor abundancia de estigobios, en nuestro caso se ha obtenido una fauna estigobia ligeramente más pobre. En primer lugar se podría pensar que el epikarst de esta región española es menos rico en cuanto a este tipo de fauna, pero esto es sólo en apariencia ya que puede haber algunos factores de nuestro karst que no se han considerado y que limitan la lista de especies estigobias obtenidos en Ojo Guareña respecto de la obtenida por Pipan:

- una menor tasa de precipitación, que redundaría en un menor volumen de agua de percolación y, en definitiva, dificultad en el transporte de fauna desde los pequeños intersticios hacia las galerías de la cueva. En Espinosa de los Monteros, la precipitación media a finales del S. XX ha sido de 958 mm, mientras que en las regiones que estudia Pipan la precipitación se encuentra entre los 1.548 mm de precipitación anual en Županova y los 2.019 mm anuales en Dimnice. La menor tasa de precipitación anual, que actualmente es aproximadamente la mitad en comparación con las áreas de estudio de Culver y Pipan, Postojna-Planina y en Virginia Oeste, conlleva una menor tasa de producción primaria en superficie y reduce la capacidad de carga del sistema. A pesar del gran índice de insolación que hay en la Península Ibérica, sabido es que el balance anual de precipitaciones son un limitante de la producción primaria.
- una mayor presencia de especies no estigobias que propicien la aparición de una gran competencia por los recursos alimenticios y por los hábitat.
- En general, las galerías de la cavidad principal estudiadas, así como las demás cavidades del karst de Ojo Guareña consideradas en este trabajo, se encuentran a poca profundidad, tienen espesor de calizas escaso hasta la superficie en comparación con otros karst más profundos. El agua tiene un recorrido menor hasta las galerías accesibles, tiene menor oportunidad para captar y transportar fauna a las galerías que en otros epikarst de mayor profundidad, y la propia red de conductos tiene menor capacidad de carga por menor disponibilidad de volumen de caliza. El efecto de la potencia de las calizas se ha comprobado que puede llegar a ser determinante en el número de especies presentes en el medio subterráneo (Pipan y Bracelj, 2004; Pipan, 2005).

- En el presente estudio, además de considerar las cuevas, aproximadamente la mitad de las muestras se han obtenido en otros ambientes que están en contacto más estrecho con el medio epigeo: hiporréico estricto, freático superficial y surgencias. Ya se ha observado en algunos estudios la dominancia de estigobios si se profundiza mucho en el karst (Longley, 1981) y una proporción mucho menor de estigobios en zonas más superficiales del ámbito subterráneo (Dole-Olivier *et al.*, 1994).

Sólo se conocen 10 lugares en el mundo con 20 estigobios o más (Sket, 1999b, Culver y Sket, 2000) y, por tanto, Palomera con 21 estigobios y 42 especies subterráneas *s.l.* y el Monumento Natural en su conjunto, con 39 estigobios y 65 subterráneos *s.l.*, es uno de los enclaves con la más extraordinaria diversidad de especies subterráneas hallados hasta la fecha, a pesar de no conocerse la fauna por completo, ya que la fauna aislada durante este estudio no se ha terminado de estudiar a nivel específico.

En las regiones de clima templado se ha observado un elevado porcentaje de crustáceos entre la fauna estigobia (Sket, 1999a y 1999b). En Europa, Danielopol y colaboradores (2000) han calculado que aproximadamente el 40% de los crustáceos conocidos son estigobios, lo que supone una proporción muy elevada. Esto lo explican por la existencia de una importante tasa de endemidad y por la escasa competencia, que en los ambientes acuáticos epigeos es grande y con interacciones fuertes con una dominancia de la clase Insecta (Danielopol *et al.*, 2000). Por tanto, se sospecha que la diversidad de la fauna acuática hipogea puede superar a la de la fauna acuática epigea (Gibert y Deharveng, 2002). Dada esta elevada tasa de endemidad existente en los acuíferos subterráneos, se hace más necesaria la conservación extensiva, de parajes y conjuntos de ambientes, de la red de acuíferos, más que la conservación de cuevas, especies o hábitat concretos, como se viene haciendo desde los comienzos de las políticas en medidas de conservación y de protección de especies emblemáticas.

Durante este estudio se han iniciado análisis con técnicas moleculares con la finalidad de estudiar la variabilidad genética en las poblaciones. Tras haberse aplicado dichas técnicas con ácaros, crustáceos isópodos y batineláceos, finalmente se han conseguido resultados sobre un género de Bathynellidae, *Vejdovskybathynella* -Camacho *et al.*, 2011-. Se sugiere que la presencia de especies crípticas debe ser un hecho relativamente frecuente, que anteriormente ya se ha constatado en crustáceos subterráneos, Lefébure *et al.*, 2006; Finston *et al.*, 2007; Guzik *et al.*, 2008; Trontelj *et al.*, 2009, así como en otros grupos faunísticos: Jarman y Elliot, 2000 y Herbert *et al.*, 2004. La presencia de estas especies crípticas no se debe menospreciar, por ende es un área en la que se deben continuar desarrollando en los estudios de fauna, especialmente entre la fauna acuática subterránea (Stoch, 2000; Trontelj *et al.*, 2009).

Las curvas de acumulación de especies calculadas con el índice de Jackknife indican que en la cavidad principal no se ha alcanzado una asíntota o *plateau* y se espera que aparezcan más especies en

el futuro, aunque a un ritmo moderado. En el *entorno*, sin embargo, hay indicios de que aun quedan numerosas especies por descubrir y se puede aumentar el listado de fauna con un pequeño incremento en el esfuerzo de muestreo, máxime teniendo en cuenta la existencia de falsos negativos (Eberhard *et al.*, 2009) por el alto grado de endemidad en este tipo de fauna y su consiguiente subestimación. A esto hay que añadir la dificultad de tomar muestras representativas en un ámbito como el medio subterráneo, lo que supone la presencia de especies que aun quedan por descubrir porque no se han podido obtener durante nuestros muestreos, otras especies ya colectadas, a falta de su estudio taxonómico (Nematoda y Cladocera) y presencia de especies crípticas.

Por tanto, Palomera y el Monumento Natural de Ojo Guareña son un punto caliente de diversidad o *hotspot* (Deharveng *et al.*, 2009; Culver y Sket, 2000), al que hay que prestar una especial atención dada la presencia de numerosos endemismos, subterráneos estrictos y facultativos, con una distribución discreta, en parches con comunicación espacial limitada y relativa estabilidad ambiental, sobre la cual aun queda mucho por investigar y conocer.

6.4. Sobre conservación

Hasta el momento, el complejo kárstico de Ojo Guareña se ha sometido a distintos regímenes de protección. Primero se declaró Bien de Interés Cultural (BIC), en 1970, a continuación, en 1996 se declaró Monumento Natural, dentro de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Castilla y León y en 2004 se ha incluido en la Red Natura 2000, como Lugar de Interés Comunitario (LIC). En la actualidad se ha propuesto que pase a formar parte de la Red de Parques Nacionales que, de ser así, se trataría del primero en el que se contempla específicamente la conservación del medio subterráneo.

Las circunstancias expuestas a lo largo del trabajo sobre la fauna que alberga indican la fragilidad y lo emblemático de este paraje. Además, hay que considerar el hecho de que la relativa estabilidad del ambiente subterráneo ha conseguido que los endemismos, frecuentes en este medio que son habitualmente especialistas y estenóticos, tengan una capacidad reducida de respuesta a los cambios ambientales, como ya sugería Racovitza (1905), con periodos de letargo y fecundidad reducida y restringida a espacios breves y de tiempo y escasos a lo largo de su vida. Por tanto, se ha manifestado la necesidad de una visión globalizadora en los estudios de diversidad de fauna acuática subterránea, sin centrarse en el estudio aislado de determinadas cavidades, como se ha hecho tradicionalmente. Del mismo modo, para la conservación de la fauna y sus dominios, se debe considerar la preservación de todo el paraje y sus propiedades. Generalmente, la fauna tiene la capacidad y la necesidad de migrar, en función de la dinámica del agua y de los nutrientes y en el caso de la fauna cavernícola se desconoce casi por completo, con lo cual se hace más necesaria la preservación a escala media (local, regional), aparte de la validez de la utilización de puntos calientes de diversidad, *hotspots*, como datos de referencia y control. Sin embargo, el ámbito de conservación no debe limitarse a determinadas

localizaciones, lugares concretos como se ha hecho en algunas ocasiones protegiendo exclusivamente una única cavidad: cueva Huerta y cuevas de Andina, en Asturias, cueva de los Naturalistas, en las Palmas de Gran Canaria, Valporquero, en León y Ojo Guareña, en sus orígenes, entre otras.

Hay una serie de circunstancias que indican la particularidad de la fauna de Palomera y del Monumento Natural de Ojo Guareña en su conjunto, entre los que se cabe citar:

- Endemismos encontrados de los diferentes grupos faunísticos: 26 especies, sólo entre las especies subterráneas estrictas.
- Presencia habitual de ciertos grupos taxonómicos: proporción dominante de copépodos ciclopoides sobre los harpacticoides, tanto subterráneos como epigeos y establecimiento regular de poblaciones de batineláceos (OG-01, OG-09 y OG-14, OG-16, OG-50 y OG-53) y en ocasiones en número elevado.
- Escasez de algunos grupos taxonómicos que suelen tener una presencia más notable en aguas subterráneas: copépodos harpacticoides, en cuatro muestras de tres localizaciones, OG-10, OG-14 y OG-38. Turbelarios, sólo en cinco puntos -Sima Dolencias, OG-08, OG-14, OG-15 y OG-33- y los anfípodos subterráneos, con una ausencia generalizada en todo el complejo.

Dichas circunstancias y sus factores determinantes hacen más interesante, si cabe, la preservación de este enclave y se debería de tener en cuenta en las estrategias de conservación: se debe combinar una cobertura de ambientes diversos, así como la inclusión de lugares que presentan singularidades (Danielopol *et al.*, 2009), como es el caso de Ojo Guareña.

Con el conocimiento más profundo y extendido de un lugar emblemático, la estrategia de conservación puede establecerse con más rigor y éxito. La importancia y singularidad del complejo de Ojo Guareña se está divulgando, de modo que la comunidad científica y la población puedan apreciar su valor. Algunas acciones que están ayudando a dicha divulgación son: la puesta en servicio del Centro de Interpretación de la cavidad y su entorno -conocida como Casa del Monumento Natural de Ojo Guareña- el 8 de diciembre de 2005, publicación divulgativa de Camacho y colaboradores en 2004 y algunas notas de prensa posteriores, como las publicadas el día 1 de septiembre de 2011 en el diario ABC y en el Diario de Burgos, donde se explica la gran diversidad biológica que alberga la cueva y la propuesta para incluir el área en la Red de Parques Nacionales, o la nota sobre el paraje y su diversidad que existe en la página web de la Junta de Castilla y León.

Conclusiones

7. Conclusiones

- 1- En el epikarst del Monumento Natural de Ojo Guareña, en general, el agua es de naturaleza bicarbonatada cálcica y la mineralización está determinada por las características físico-químicas de las precipitaciones y la meteorización de la roca del karst. La composición iónica es muy estable, pero aún así hemos observado una periodicidad marcada en la saturación de anhídrido carbónico en el transcurso de las estaciones y la saturación de bicarbonato está sujeta a una fluctuación estacional.
- 2- En el conjunto de cavidades del Monumento el agua presenta unos valores medios de concentración de calcio y bicarbonato inferiores a los que presentan las aguas de surgencias y freáticas estudiadas en la zona, y superiores a las de las aguas hiporréicas. De esto se puede deducir que en el epikarst de las cavidades analizadas los periodos de residencia del agua son moderados, mientras que en surgencias y pozos el tiempo de residencia es mayor.
- 3- La mayor concentración de sulfatos se ha registrado en los pozos, seguida por la de las surgencias y de la zona hiporréica. Esto está en consonancia con los resultados de Bakalowicz publicados en 1994, que concluyen que el agua que alcanza los niveles más profundos en el karst tiene las mayores concentraciones detectadas de sulfatos.
- 4- Hemos detectado la existencia de diferencias significativas en la composición mineralógica de las aguas entre hábitat próximos (OG-07 y OG-10; OG-08 y OG-15, todos ellos en *Gours de las Hojas*, Galería del Teléfono); las aguas se agrupan en conjuntos discretos según el tipo de hábitat, es decir, en función de la naturaleza del sustrato del que proceden, más que por la localización geográfica, lo cual deducimos que se debe principalmente a la granulometría, la composición del sedimento y la procedencia del agua. Por otro lado, la semejanza hallada entre puntos del *recorrido ocasional* distantes entre sí, se puede atribuir a la conectividad hidráulica, a las líneas de flujo subterráneas que recorren la galería principal.
- 5- Durante los 3 años que ha durado el periodo de estudio no hemos encontrado contaminación alguna en las aguas muestreadas, bien de naturaleza orgánica (nitritos, nitratos o formiatos), o inorgánica (metales pesados).
- 6- En Palomera hemos encontrado 42 especies subterráneas *sensu lato*, de las cuales 21 son estigobias. En todo el conjunto del Monumento Natural se han identificado 39 especies estigobias, 25 de ellas son crustáceos, básicamente copépodos (10 especies de ciclopoideos) y

malacostráceos (Bathynellacea, Amphipoda e Isopoda). Esta elevada proporción de crustáceos, seguida, en segundo lugar, por un elevado número de especies de oligoquetos, coincide con los resultados obtenidos en estudios de fauna estigobia en todo el mundo.

- 7- De las 39 especies estigobias halladas en el Monumento, 21 viven en Palomera y 26 en el entorno, de estas últimas, 13 especies se encuentran repartidas en las otras 11 cavidades estudiadas en el entorno (cinco son exclusivas de este ambiente); en el agua hiporréica hemos contabilizado hasta 15 especies estigobias (9 exclusivas de este ambiente) y sólo 8 especies estigobias viven en las surgencias.
- 8- El grado de endemidad de las especies subterráneas es muy elevado, con un total de 26 endemismos encontrados hasta la fecha en el conjunto del Complejo. En cueva Palomera, se han encontrado 14 de los 26 endemismos: 11 crustáceos, 2 oligoquetos y 1 molusco. En el *entorno* se han hallado 17 de los 24 endemismos, 14 crustáceos, 1 oligoqueto y 2 moluscos.
- 9- Sólo se han encontrado 8 especies estigobias coincidentes entre Palomera y el *entorno*, 7 de ellas aparecen en cavidades (un gasterópodo hidróbido *Paladihiopsis septentrionalis*, un limnohalacárido aún por determinar, dos ostrácodos candónidos sin determinar, el isópodo *Stenasellus virei buchneri* y dos sincáridos, *Vejdovskybathynella edelweiss* y un nuevo género aún por describir), además de otra especie en el medio freático del río Trueba (un copépodo parastenocárido sin determinar). Existe una gran afinidad de algunos crustáceos estigobios por el epikarst, goteos y charcos. Este es el caso del copépodo *Speocyclops infernus*, o del sincárido *Iberobathynella burgalensis*. Dichas especies no se han detectado en muestras de otro tipo de hábitat en el *entorno*.
- 10- El análisis conjunto de datos faunísticos y físico-químicos en la cavidad principal revela que la mayor cantidad de fauna estigobia se encuentra en medios con saturación de carbonatos, con agua permanentemente, con fondo mixto y con elevada concentración de materia orgánica. La menor riqueza de especies estigobias se observa en medios temporales, con mineralización escasa, variaciones estacionales marcadas en todos los parámetros medidos y con poco contenido en materia orgánica.
- 11- El estudio ha aportado 15 nuevas especies para la ciencia, y alguna más que aparecerá cuando todo el material sea estudiado a nivel específico por los respectivos especialistas colaboradores. Doce especies se han recolectado en el *Entorno* y 7 en la cueva Palomera. Dos de las especies nuevas son oligoquetos y el resto son crustáceos.

- 12- En Palomera suponemos que no quedan muchas más especies por encontrar ya que se ha alcanzado el "plateau" en las curvas de acumulación de especies realizadas; sin embargo en el *entorno* aún estamos lejos de conocer la diversidad estigobia, pues la curva sigue ascendiendo, sin acercarse a la asíntota; por tanto la *diversidad* debe estar subestimada y nuevos muestreos deben rendir especies nuevas.
- 13- En estudios de diversidad y conservación de fauna acuática subterránea es necesario muestrear el conjunto de hábitat subterráneos y no sólo las grandes cavidades. En nuestro trabajo vemos cómo pocas muestras del *entorno*, rinden una mayor riqueza absoluta de especies que las numerosas muestras estudiadas en la *cavidad principal*. A mayor diversidad de hábitat, más diversidad de especies estigobias.
- 14- Podemos concluir que estudios integradores y transdisciplinares como el aquí realizado son imprescindibles para acercarnos al conocimiento real de la biodiversidad de fauna estigobia. Según los resultados del proyecto Europeo PASCALIS sólo se conocen en España unas 200 especies estigobias y casi una quinta parte, 39, viven en Ojo Guareña y se han descubierto gracias a nuestro trabajo que también ha puesto de relieve la naturaleza de "punto caliente" (*hotspots*) de Biodiversidad al Monumento Natural de Ojo Guareña, que tras este trabajo se une a la corta lista de *hotspots estigobios* conocidos en Europa y en el mundo.

Bibliografía

8. Bibliografía

- Albrecht, M.L., (1959) Die quantitative Untersuchung der Bodenfauna fliessender Gewässer. *Zeitschrift für Fischerei: und deren Hilfswissenschaften*, **8**: 481–550.
- Álvarez, J. (1971) Bioespeleología de la cueva de Ojo Guareña. Oligoquetos terrícolas. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Biología)*, **69**: 11-18.
- Anastasio, P.M., Gonçalves, S.C., Pardal, M.A. y Marques, J.C. (2003) A model for amphipod (*Talitrus saltator*) population dynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **58** (1): 149-157.
- Angelier, E. (1953) Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables sumergés. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale.*, **90**: 37-161.
- Arconada, B. y Ramos, M.A. (2004) Mollusca Gastropoda. En: <http://iberfauna.mncn.csic.es/>.
- Bailey, R.C., Norris, R.H. y Reynoldson, T.B. (2001) Taxonomic resolution of benthic macroinvertebrate communities in bioassessments. *Journal of the North American Benthological Society*, **20**: 280-286.
- Bakalowicz, M., (1994) Water geochemistry: water quality and dynamics. En: *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. J. Gibert, D. Danielopol y J.A. Stanford (Eds.). Aquatic Biology, Series, Academic Press, London. 571 p.
- Bank, R.A. (2004) Gastropoda Hydrobiidae. En: <http://www.faunaeur.org/>.
- Barr, D. (1973) *Methods for the collection and study of water mites (Acari: Parasitengona)*. Life Science Miscellaneous Publications. Royal Ontario Museum: 1-28.
- Barr, T.C. y Kuehne, R.A. (1971) Ecological studies in the Mammoth Cave ecosystems of Kentucky. II. The Ecosystems. *Annales Spéléologie*, **26**, 47-96.
- Bellés, X. (1975-1976) Ptínidos recogidos en cavidades subterráneas ibéricas (Col. Ptinidae). *Speleon* **22**: 145-147.
- Bellés, X. (1977) Notas sobre *Speocharis minus* Jeannel, 1909 y otros catópidos recogidos en cuevas de la provincia de Burgos. *Graellsia*, **XXXI**: 119-124.
- Bencala, K.E. (2000) Hyporheic zone hydrological processes. *Hydrological Processes*, **14**: 2797-2798.
- Berzal, V., García, F. y Vicens, J.M. (1987) Estudio de viabilidad de un plan de regeneración hídrica en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. En: *Proceedings of the Symposium of Hydrology*, 4th. Asociación Española de Hidrología Subterránea, Palma de Mallorca (Spain): 581-594.
- Blas, M. (1977) Contribución al conocimiento de los Anemadinae de la Península Ibérica (Col. Catopidae). *Comunicacions del IV Simposium d' espeleología bioespeleología*, Terrassa: 125-130.
- Boeters, H.D. (2003) Supplementary notes on Moitessieriidae and Hydrobiidae from the Iberian Peninsula (Gastropoda, Caenogastropoda). *Basteria*, **67** (1-3): 1-41.
- Bole, J. y Velkovrh, F. (1986) Mollusca from continental subterranean aquatic habitats. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 177-208.

- Borutzky, E.V. (1964) Freshwater Harpacticoida. *Fauna of U.S.S.R. Crustacea*, **3** (4): 1-396. Translation by Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem.
- Botosaneanu, L. Ed. (1986) *Stygofauna Mundi. A Faunistic, Distributional, and Ecological Synthesis of the World Fauna inhabiting Subterranean Waters (including the Marine Interstitial)*. L. Botosaneanu (ed.). Leiden - E. J. Brill/Dr. W. Backhuys: 740 p.
- Bou, R. (1974) Recherches sur les eaux souterraines. 25. Méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles. *Annales de Spéléologie*, **29** (4): 611-619.
- Bou, C. y Rouch, R. (1967) Un nouveau champ de recherches sur la faune aquatique souterraine. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, **256**: 369-370.
- Boulton, A.J., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E.H. y Valett, H.M. (1998) The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **29**: 59-81.
- Boulton, A.J., Humphreys, W.F. y Eberhard, S.M. (2003) Imperilled subsurface waters in Australia: Biodiversity, threatening processes and conservation. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, **6** (1): 41-54.
- Boutin, C. (1994) Phylogeny and biogeography of metacrangonyctid amphipods in North Africa. *Hydrobiologia*, **287** (1): 49-64.
- Boxshall, G. y Defaye, D. (2004) Copepoda Cyclopoida. En: <http://www.faunaeur.org/>.
- Boxshall, G. y Vonk, R. (2004) Crustacea Amphipoda. En: <http://www.faunaeur.org/>.
- Boxshall, G. y Defaye, D. (2008) Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**: 195-207.
- Brancelj, A. (1986) Rare and lesser known harpacticoids (Copepoda, Harpacticoida) from the Postojna-Planina Cave System (Slovenia). Ljubljana, *Biološki vestnik*, **34** (2): 13-36.
- Brancelj, A. (1987) Cyclopoida and Calanoida (Crustacea, Copepoda) from the Postojna-Planina Cave System (Slovenia). Ljubljana, *Biološki vestnik*, **35** (1): 1-16.
- Brancelj, A. (2000) *Morariopsis dumonti* n.sp. (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) – A new species from an unsaturated karstic zone in Slovenia. *Hydrobiologia*, **436**: 73-80.
- Brancelj, A. (2001) Male of *Moraria radovnae* Brancelj, 1988 (Copepoda: Crustacea), and notes on endemic and rare copepod species from Slovenia and neighbouring countries. *Hydrobiologia*, **453/454**: 513-524.
- Brancelj, A. (2002) Microdistribution and high diversity of Copepoda (Crustacea) in a small cave in central Slovenia. *Hydrobiologia*, **477**: 59-72.
- Bréhier, F. y Jaume, D. (2009) A new species of Pseudoniphargus (Crustacea, Amphipoda, Melitidae) from anchialine cave on the French Mediterranean coast. *Zoosystema*, **31** (1): 17-32.
- Burbanck, W.D., Burbanck, M.P. et Edwards, J.P. (1948) Toleration of lowered oxygen tension by cave and stream crayfish. *The Biological Bulletin*, **93** (2): 190.

- Camacho, A. I. (1992) Sampling the subterranean biota cave (aquatic environment). En: The natural history of biospeleology. A.I. Camacho (Ed.). Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, vol. 7: 135-168.
- Camacho, A. I. (1993) *Informe Biológico: Ojo Guareña (Sotoscueva – Burgos)*. 30p.
- Camacho, A. I. (1994) *Los medios acuáticos y sus poblaciones*. Actas del VI Congreso Nacional de Espeleología, La Coruña: 35-52.
- Camacho, A. I. (1998) La vida animal en el Mundo Subterráneo: Habitantes de las Grandes Cuevas y Simas de España. En: *Grandes Cuevas y Simas de España*. C. Puch. Exploración, Monográfico Espeleo Club de Gracia, Barcelona: 19-46.
- Camacho, A. I. (2003a) Four new species of the groundwater crustaceans (Syncarida, Bathynellacea, Parabathynellidae) endemic to the Iberian Peninsula (Portugal and Spain). *Journal of Natural History* **37**: 2885-2907.
- Camacho, A. I. (2003b) An overview of the distribution of the Parabathynellidae (Crustacea, Syncarida, Bathynellacea) on the Iberian Peninsula. *Graellsia* **59** (1): 63-78.
- Camacho, A. I. (2005) Expanding the taxonomic conundrum: Three new species of groundwater crustacean (Syncarida, Bathynellacea, Parabathynellidae) endemic to the Iberian Peninsula. *Journal of Natural History*, **39** (21): 1819-1838.
- Camacho, A.I. (2007) The first record of the genus *Vejdovskybathynella* Serban and Leclerc, 1984 (Syncarida, Bathynellacea, Bathynellidae) in the Iberian Peninsula: three new species. *Journal of Natural History*, **41**(45–48): 2817–2841.
- Camacho, A.I., Bello, E., Becerra, J.M. y Vaticon, N. (1992) *A natural history of the subterranean environment and its associated fauna*. En: The natural history of biospeleology. A.I. Camacho (Ed.). Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales, vol. 7, CSIC: 135-168.
- Camacho, A. I. y Bedoya, J. (1994) Evaluation of the effects of different preservative and fixative fluids on aquatic invertebrates from interstitial waters. *Collection Forum* **10** (1): 20-31.
- Camacho, A. I., Valdecasas, A. G., Rodríguez, J. y Puch, C. (2005) A través de la aparente oscuridad. *Cubía*, **7**: 34-40.
- Camacho, A. I., Valdecasas, A. G., Rodríguez, J., Cuezva, S., Lario, J. y Sánchez-Moral, S. (2006a) Habitat constraints in epikarstic waters of an Iberian Peninsula system cave. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, **42** (2) : 127-140.
- Camacho, A.I., de Torres, T., Ortiz, J.E., Puch C., y G.-Valdecasas, A. (2006b) Small-scale biogeographical pattern in groundwater Crustacea (Syncarida, Parabathynellidae). *Biodiversity and Conservation*, **15**: 3527-3541.
- Camacho, A.I. y Valdecasas, A.G. (2008) Global diversity of syncarids (Syncarida; Crustacea) in freshwater. *Hidrobiología*, **585** (1): 257-266.
- Camacho, A.I., Wtiroyram, S. y Brancelj, A. (2011) The first record of Bathynellacea from Thailand: a new genus and species of Parabathynellidae (Crustacea: Syncarida). *Journal of Natural History*, **45** (45-46): 2841-2854.
- Camacho, A.I., Dorda, B.A. y Rey, I. (2012) Identifying cryptic speciation across groundwater populations: first COI sequences of Bathynellidae (Crustacea, Syncarida). *Graellsia*, **67** (1): 7-12.

- Castany, G. (1982) *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Dunod / Bordas, Paris. 236 p.
- Cattell, R.B. (1966) The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, **1**: 245-276.
- Cavaille, A. (1964) Observations sur l'évolution des grottes. *International Journal of Speleology*, **1**: 71-100.
- Chapman, M.G. y Underwood, A.J. (1999) Ecological patterns in multivariate assemblages: information and interpretation of negative values in Anosim tests. *Marine Ecology Progress Series*, **80**: 257-265.
- Chappuis, P. A. (1942) Eine neue Methode zur Untersuchung der Grundwasserfauna. *Acta Scientiarum Mathematicarum et Naturalium*, **6**: 1-7.
- Chappuis, P. A. (1950) La récolte de la faune souterraine. *Notes biospéologiques*, **5**: 1-35.
- Chessman, B., Williams, S. y Besley, C. (2007) Bioassessment of streams with macroinvertebrates: effect of sampled habitat and taxonomic resolution. *Journal of the North American Benthological Society*, **26** (3): 546-565.
- Chevreaux, E. (1901) Amphipodes des eaux souterraines de France et d'Algérie, V. *Pseudoniphargus africanus* nov. gen. et sp. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, **26**: 211-216.
- Chilton, C. (1894) The subterranean Crustacea of New Zealand with some general remark on the fauna of caves and wells. *Transactions Linnean Society of London*, **VI**, pt. 2, 25-35.
- Chopard, L. (1928) Sur une gravure d'Insecte de l'époque magdalénienne. *Compte rendu des séances de la Société de Biogéographie*, **5** (41): 64-67.
- Christiansen, K. (1962) Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca*, **2**: 76-78.
- Cigna, A.A. (2004) Climate of caves. En: *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. J. Gunn (Ed.). Taylor & Francis Books, Inc. New York: 228-230.
- Clarke, K.R. y Gorley, R.N. (2001) *PRIMER v5: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E: Plymouth. 91 p.
- Clarke, K.R. y Green, R.H. (1988) Statistical design and analysis for a "biological effects" study. *Marine Ecological Progress Series*, **46**: 213-226.
- Clarke, K.R. y Warwick, R.M. (2001) *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd edition PRIMER-E: Plymouth. 172 p.
- Clausen, C. y Salvini-Plawen, L.v. (1986) Cnidaria. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 33-42.
- Coineau, N. (1994) Evolutionary biogeography of the Microparasellid isopod *Microcharon* (Crustacea) in the Mediterranean Basin. *Hydrobiologia*, **287** (1): 77-93.
- Coineau, N. Henry, J.P., Magniez, G. y Negoescu, I. (1994) Isopoda Aquatica En: *Encyclopaedia Biospeologica*. C. Juberthie y V. Decu (Eds.). Société de Biospéologie. Moulis (C.N.R.S.)-Bucarest (Académie Roumaine): 123-140.

- Cook, D.R. (1974) *Water mite genera and subgenera*. Memoirs of the American Entomological Institute, **21**: 860 p.
- Cooling, M.P. y Boulton, A.J. (1993) Aspects of the Hyporheic Zone below the Terminus of a South Australian. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, **44**: 411-426.
- Cramer, C. (2000) New species of the water mite genus *Kongsbergia* (Acari: Hydrachnidia: Aturidae) from Mexico. *International Journal of Acarology*, **26** (3): 271-278.
- Culver, D.C. (1982) *Cave life. Evolution and Ecology*. Harvard University Press, Cambridge. 189 p.
- Culver, D.C. (1994) *Species Interactions*. En: *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. J. Gibert, D. Danielopol y J.A. Stanford (Eds.). Aquatic Biology, Series, Academic Press, California. 571 p.
- Culver, D.C. y Holsinger, J.R. (1992) How many species of troglobites are there? *Bulletin of the National Speleological Society*, **54**: 79-80.
- Culver, D.C. y Holsinger, J.R. (1994) Fine-scale distribution of hypogean Ostracoda in the interstitial habitats of the Rivers Sava and Rhône. *Hydrobiologia*, **287** (1): 19-28.
- Culver, D.C. y Sket, B. (2000) Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. *Journal of Cave and Karst Studies*, **62** (1): 11-17.
- Culver, D.C., Christman, M.C., Elliott, W.R., Hobbs, H.H. y Reddell, J.R. (2003) The North American obligate cave fauna: regional patterns. *Biodiversity and Conservation*, **12**: 441-468.
- Culver, D.C. y White, W.B. (2005) *Encyclopedia of Caves*. D.C. Culver y W.B. White (Eds.). Elsevier Academic Press, USA. 654 p.
- Culver, D.C., Christman, M.C., Sket, B. y Trontelj, P. (2004) Sampling adequacy in an extreme environment: species richness patterns in Slovenian caves. *Biodiversity and Conservation*, **13**: 1209-1229.
- Culver, D.C., Pipan, T. y Schneider, K. (2009), Vicariance, dispersal and scale in the aquatic subterranean fauna of karst regions. *Freshwater Biology*, **54**: 918-929.
- Culver, D.C. y Pipan, T. (2011) Redefining the extent of the aquatic subterranean biotope - shallow subterranean habitats. *Ecohydrology*, **4**: 721-730.
- Cummings, K.W. (1962) An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *American Midland Naturalist* **67**: 477-504.
- Cvetkov, L. (1968) Un filet phréatobiologique. *Bulletin de l'Institut de Zoologie et Musée*. Académie Bulgare des Sciences, Sofia, **27**: 215-218.
- Danielopol, D.L. (1989) Groundwater fauna associated with riverine aquifers. *Journal of the North American Benthological Society*, **8**: 18-35.
- Danielopol, D. y Griebler, C. (2008) Changing paradigms in Groundwater Ecology – From the ‘Living Fossils’ Tradition to the ‘New Groundwater Ecology’. *International Review of Hydrobiology*, **93** (4-5): 565-577.
- Danielopol, D.L. y Hartmann, G. (1986) Ostracoda. Part I: Stygobiont Ostracoda from inland subterranean waters. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and*

ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial): 265-278.

Danielopol, D.L., Pospisil, P. y Rouch, R. (2000) Biodiversity in groundwater: a large-scale view. *Trends in Ecology and Evolution*, **15**: 223-224.

Danielopol, L. y Pospisil, P. (2001) Hidden biodiversity in the groundwater of the Danube Flood Plain Nacional Park (Austria). *Biodiversity and Conservation*, **10**: 1711-1721.

Danielopol, D. L., Artheau, M. y Marmonier, P. (2009), Site prioritisation for the protection of rare subterranean species – the cases of two ostracods from south-western France. *Freshwater Biology*, **54**: 877–884.

Darwin, C. (1859) *The origin of the species*. Penguin Books, Oxford, UK. 477 p.

David, E. (2004) VisualTopo v. 4.9. (La Ravoire, Francia). <http://vtopo.free.fr/>

Davis, W.M. (1930) Origin of limestone caverns. *Bulletin of the Geological Society of America*, **41**: 475-628.

Décamps, H. y Naiman, R.J. (1990) Towards an ecotone perspective. En: *Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones* (R.J. Naiman & H. Décamps). Man and the Biosphere Series, 4. Parthenon Publishing, UNESCO, Paris, Carnforth. 316 p.

Deharveng, L., Stoch, F., Gibert, J., Bedos, A., Galassi, D., Zagnajster, M., Brancelj, A., Camacho, A., Fiers, F., Martin, P., Giani, N., Magniez, G. y Marmonier, P. (2009), Groundwater biodiversity in Europe. *Freshwater Biology*, **54**: 709–726.

Demange J. M. y Serra A. (1978) Etude des rapports de longueur des articles des P.15 de quelques *Lithobius* cavernicoles de l’Espagne et des Pyrénées françaises. Description d’une espèce et une sous-espèce nouvelles (Chilopoda, Lithobiomorpha). *Speleon* **24**: 39-54.

Delamare Deboutteville, C. (1960) *Biologie des eaux souterraines littorales et continentales*. Hermann (Ed.), Paris. 740 p

Delay, B. (1968) Données sur le peuplement de la zone de percolation temporaire. *Annales de spéléologie*, **23** (4) : 705-716.

Derouet, L. (1949) Comparaison des échanges respiratoires chez *Gammarus pulex* L. et *Niphargus virei* Chevreux. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences*, **228**.

Derouet, L. (1953) Étude comparée du Métabolisme respiratoire chez certaines espèces de Crustacés cavernicoles et epigés. *Notes biospéologiques*, **8**.

Des Châtelliers, M. C., Juget, J., Lafont, M. y Martin, P. (2009), Subterranean aquatic Oligochaeta. *Freshwater Biology*, **54**: 678–690.

Dole-Olivier, M.J. (2000) The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology*, **44**: 63-91.

Dole-Olivier, M.J., Marmonier, P, Creuzé des Châtelliers, M. y Martin, D. (1994) Interstitial Fauna Associated with the Alluvial Floodplains of the Rhône River (France). En: *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. Gibert, J., D. Danielopol y J.A. Stanford (Eds.). Aquatic Biology, Series, Academic Press, London: 314-346.

Dole-Olivier, M.J., Galassi, D.M.P., Marmonier, P. y des Châtelliers, M.C. (2000) The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology*, **44**: 63-91.

Dole-Olivier, M.-J., Castellarini, F., Coineau, N., Galassi, D. M. P., Martin, P., Mori, N., Valdecasas, A. y Gibert, J. (2009a), Towards an optimal sampling strategy to assess groundwater biodiversity: comparison across six European regions. *Freshwater Biology*, **54**: 777–796.

Dole-Olivier, M.-J., Malard, F., Martin, D., Lefébure, T. y Gibert, J. (2009b), Relationships between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale. *Freshwater Biology*, **54**: 797–813.

Dresco-Derouet, L. (1959) Contribution a l'étude de la Biologie de deux Crustacés aquatiques cavernicoles : *Caecosphaeroma burgundum* D. et *Niphargus orcinus virei* Ch. *Vie et Milieu*, **10**: 321-346.

Driscoll, F.G. (1986) *Groundwater and Wells*, 2nd edition. Jonson Division, UOP Inc., St. Paul, MN. 1089 pp.

Eberhard, S. M., Halse, S. A., Williams, M. R., Scanlon, M. D., Cocking, J. y Barron, H. J. (2009), Exploring the relationship between sampling efficiency and short-range endemism for groundwater fauna in the Pilbara region, Western Australia. *Freshwater Biology*, **54**: 885–901.

Eigenmann, C.H. (1907) Cave vertebrates of America, *Mémoires Carnegie Institute of Washington Publication*, **104**. 241 p.

Elmgren, R. (1973) Methods of sampling sublittoral soft bottom meiofauna. *Oikos*, **15**: 112-120.

Eraso, A., Baquero, J. C., Opolka-Gadek, J. y Gadek, B. (2001) Investigación hidroquímica en el acuífero de Ojo Guareña. Repercusiones hidrogeológicas. *SEDECK*, **2**: 21-28.

Erséus, C. (1981) Taxonomic studies of Phallodrilinae (Oligochaeta, Tubificidae) from the Great Barrier Reef and the Comoro Islands with descriptions of ten new species and one new genus. *Zoologica Scripta*, **10** (1): 15-31.

Erséus, C. (1992) A generic revision of the Phallodrilinae (Oligochaeta, Tubificidae). *Zoologica Scripta*, **21** (1): 5-48.

Erséus, C. y Wang, H. (2003) Marine Tubificidae (Oligochaeta) of the Dampier area, Western Australia. En: Wells, F.E., Walker, D.I. and Jones, D.S. (Eds.) (2003) *The marine flora and fauna of Dampier, Western Australia*. Western Australian Museum, Perth.

Escolà, O. (1980) Contribución al conocimiento de la fauna cavernícola del País Vasco. *Kobie*, **10** (2): 539-541.

Español, F. (1970) Un nuevo *Trechus* cavernícola del norte de Burgos (*Col. Trechidae*). *Speleon*, **17**: 53-57.

Ferreira, D., Malard, F., Dole-Olivier, M.J. y Gibert, J. (2007) Obligate groundwater fauna of France: diversity patterns and conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, **16**: 567-596.

Finston, T.L. y Johnson, M.S. (2004) Geographic patterns of genetic diversity in subterranean amphipods of the Pilbara, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, **55**: 619-628.

Finston, T.L., Johnson, M.S., Humphreys, W.F., Eberhard, S.M. y Halse, S.A. (2007) Cryptic speciation in two widespread subterranean amphipod genera reflects historical drainage patterns in an ancient

landscape. *Molecular Ecology*, **16**: 355-365.

Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R. y Vrijenoek, R. (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit 1 from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, **3**: 294-299.

Fong, D.W. y Culver, D.C. (1994) Fine-scale biogeographic differences in the crustacean fauna of a cave system in West Virginia, USA. *Hydrobiologia*, **287** (1): 29-37.

Fraser, B.G. y Williams, D.D. (1998) Seasonal boundary dynamics of a groundwater/surface-water ecotone. *Ecology*, **79**: 2019-2031.

Gadeau de Kerville, H. (1926) Note sur un Proteé anguillard (*Proteus anguinus* Laur.) ayant vécu sans aucune nourriture. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, **51**: 81-84.

Galassi, D., Marmonier, P., Dole-Olivier, M.J. y Rundle, S. (2002) Microcrustacea. En: *Freshwater meiofauna. Biology and ecology*. S.D. Rundle, A.L. Robertson y J.M. Schmid-Araya (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden (Holanda): 135-175.

Galassi, D.M.P., Huys, R. y Reid, J.W. (2009a) Diversity, ecology and evolution of groundwater copepods. *Freshwater Biology*, **54**: 691-708.

Galassi, D.M.P., Stoch, F., Fiasca, B., Di Lorenzo, T. y Gattone, E. (2009b) Groundwater biodiversity patterns in the Lessinian Massif of northern Italy. *Freshwater Biology*, **54**: 830-847.

Giani, N., Sambugar, B., Rodríguez, P. y Martínez-Ansemil, E. (2001) Oligochaetes in Southern European groundwater: new records and overview. *Hydrobiologia*: **463** (1-3): 65-74.

Gibert, J. (1986) Ecologie d'un système karstique jurassien. Hydrogéologie, dérive animale, transit de matières, dynamique de la population de *Niphargus* (Crustacé Amphipode). *Memoires de Biospéologie*, **13**, 1-379.

Gibert, J., D. Danielopol y J.A. Stanford (Eds.) (1994) *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. Aquatic Biology, Series, Academic Press, London. 571 p.

Gibert, J., Stanford, J.A., Dole-Olivier, M.-J. y Ward J.V. (1994a) Basic attributes of groundwater Ecosystems and Prospects for research. En: *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. J. Gibert, D. Danielopol y J.A. Stanford (Eds.). Aquatic Biology, Series, Academic Press, London: 7-40.

Gibert, J., Vervier, P., Malard, F., Laurent, F. y Reygrobellet, L.L. (1994b) Dynamics of communities and ecology of karst ecosystems: example of three karsts in Eastern and Southern France. En: *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. Gibert, J., D. Danielopol y J.A. Stanford (Eds.). Aquatic Biology, Series, Academic Press, London: 425-450.

Gibert, J y Deharveng, L. (2002) Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. *BioScience*, **52** (6): 473-481.

Gibert, J., A. Brancelj, A.I. Camacho, F. Castellarini, C. De Broyer, L. Deharveng, M.-J. Dole-Olivier, C. Douady, D.M.P. Galassi, F. Malard, P. Martín, G. Michel, B. Sket, F. Stoch. P. Trontelj y A.G. Valdecasas (2005) Protocols for the Assessment and Conservation of Aquatic Life in the Subsurface (PASCALIS): overview and main results. *Proceedings of the International Symposium "World subterranean Biodiversity"*, (8-10 December 2004, Villeurbanne, France): 39-51.

Gibert, J. y Culver, D.C. (2009) Assessing and conserving groundwater biodiversity: an introduction. *Freshwater Biology*, **54**: 639-648.

- Gibert, J., Culver, D.C., Dole-Olivier, M.-J., Malard, F., Christman, M.C. y Deharveng, L. (2009) Assessing and conserving groundwater biodiversity: synthesis and perspectives. *Freshwater Biology*, **54**: 930-941.
- Griebler, C. y Lueders, T. (2009), Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. *Freshwater Biology*, **54**: 649-677.
- Giere, O. (1993) Meiobenthology. *The microscopic fauna in aquatic sediments*. Springer-Verlag, Berlin. 328 p.
- Ginet, R. (1960) Écologie, Éthologie et Biologie de *Niphargus* (Amphipodes, Gammarides hypogés). *Annales de Spéléologie* **15**: 127-376.
- Ginet, R. y Decou V. (1977) *Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines*. Jean-Pierre Delarge, Paris. 345 p.
- Gomarín Guirado, F. (1978) Bioespeleología de "La Cueva". *Cuadernos de Espeleología*, **3**: 22.
- Gorbault, N. (1986) Turbellaria Tricladida. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 57-71.
- Grupo Espeleológico Edelweiss (1986a) *Kaite 4-5*. Estudios de Espeleología Burgalesa. Monografía sobre Ojo Guareña. Diputación Provincial de Burgos. 415 p.
- Grupo Espeleológico Edelweiss (1986b) *Kaite 4-5*. Estudios de Espeleología Burgalesa. Monografía sobre Ojo Guareña (Cartografía). Diputación Provincial de Burgos.
- Grupo Espeleológico Edelweiss (2012) <http://www.grupoedelweiss.com/>.
- Grupo Espeleológico Niphargus (2012) <http://www.niphargus.net>.
- Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Riveiro, I., Vergara, A.R. y Vaamonde, A. (2006) *Tratamiento de datos*. Díaz de Santos, Universidad de Vigo. 356 p.
- Gulden, B. (2010) <http://www.caverbob.com/wlong.htm>.
- Gunn, J. (Ed.) (2004) *Encyclopaedia of Caves and Karst Science*. Taylor & Francis Books, Inc. United Kingdom. 902 p.
- Guzik, M.T., Abrams, K.M., Cooper, S.J.B., Humphreys, W.F., Cho, J.-L. y Austin, A. (2008) Phylogeography of the ancient Parabathynellidae (Crustacea, Bathynellacea) from the Yilgarn region of Western Australia. *Invertebrate Systematics*, **22** (2): 205-216.
- Hancock, P.J., Boulton, J. y Humphreys, W.F. (2005) Aquifers and hyporheic zones: Towards an ecological understanding of groundwater. *Hydrogeology Journal*, **13**: 98-111.
- Hancock, P. J. y Boulton, A. J. (2009), Sampling groundwater fauna: efficiency of rapid assessment methods tested in bores in eastern Australia. *Freshwater Biology*, **54**: 902-917.
- Hahn, H. J. y Fuchs, A. (2009), Distribution patterns of groundwater communities across aquifer types in south-western Germany. *Freshwater Biology*, **54**: 848-860.

- Henry, J-P., Lewis, J.J. y Magniez, G. (1986) Isopoda Asellota: Aselloidea, Gnathostenetroidoidea, Stenetrioidea. En: *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*. L. Botosaneanu (Ed.): 434-464.
- Henry, J-P. et Magniez, G. (1992) Isopodes Aselloïdes stygobies d'Espagne récoltés par J. Notenboom et I. Meijers, III – Le genre *Proasellus*: A – Espèces oculées ou microphtalmes. *Bijadragen tot de Dierkunde (Contributions to Zoology)*, **62** (1): 37-54.
- Herbert, P.D.N., Penton, E.H., Burns, J.M., Janzen, D.H. and Hallwachs, W. (2004) Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astraptes fulgerator*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **101** (41): 14812-14817.
- Hervant, F., Mathieu, J. y Durand, J. (2001) Behavioural, physiological and metabolic responses to long-term starvation and refeeding in a blind cave-dwelling (*Proteus anguinus*) and a surface-dwelling (*Euproctus asper*) salamander. *The Journal of Experimental Biology*, **204**: 269-281.
- Hervant, F. y Renault, D. (2002) Long-term fasting and realimentation in hypogean and epigean isopods: a proposed adaptive strategy for groundwater organisms. *The Journal of Experimental Biology*, **205**: 2079-2087.
- Hobbs III, H.H. (2005) Crustacea. En: *Encyclopaedia of Caves*: 141-153. D.C. Culver y W.B. White (Eds.). Elsevier Academic Press, USA.
- Holsinger, J. (1994) Amphipoda. En: *Encyclopaedia Biospeologica*. C. Juberthie, y V. Decu (Eds.). Société de Biospéologie. Moulis (C.N.R.S.)-Bucarest (Academie Roumaine): 147-163.
- Hopp, U., Maier, G. (2005) Implication of the feeding limb morphology on herbivorous feeding of some freshwater cyclopoid copepods. *Freshwater Biology*, **50**: 742-747.
- Hurley, D.E. (1968) Transition from Water to Land in Amphipod Crustaceans. *American Zoologist*, **8** (3): 327-353.
- Illies, J. (1978) *Limnofauna Europaea*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York & Zeittinger, Amsterdam. 532 p.
- Jakobi, H. (1954) Biologie, Entwicklungsgeschichte und Systematic von *Bathynella natans* Vejdovsky, 1882. *Zoologische Jahrbuecher. Abteilung fuer Systematic Oekologie und Geographie der Tiere*, **83**: 1-62.
- Jarman, S.N. y Elliot, N.G. (2000) DNA evidence for morphological and cryptic Cenozoic speciations in the Anaspididae, “living fossils” from the Triassic. *Journal of Evolutionary Biology*, **13**: 624-633.
- Jefferson, G.T., Chapman, P., Carter, J. y Proudlove, G. (2004) The invertebrate fauna of the Ogof Ffynnon Ddu cave System, South Wales, UK. *Cave and Karst Science*, **31** (2): 63-76.
- Jennings, J.N. (1985) *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell, Oxford. 293 p.
- Jersabek, C.D., Brancelj, A., Stoch, F. y Schabetsberger, R. (2001) Distribution and ecology of copepods in mountainous regions of the Eastern Alps. *Hydrobiologia*, **453/454**: 309-324.
- Jones, R., Culver, D.C. y Kane, T.C. (1992) Are parallel morphologies of cave organisms the result of similar selection pressures? *Evolution*, **46**: 353-365.
- Jones, J.B. y Mulholland, P.J. (Eds.) (2000) *Streams and ground waters*. Academic Press, San Diego. 425 p.

Jones, W.K. y White, W.B. (2012) Karst. En: W.B. White y D.C. Culver, (Eds.). *Encyclopedia of caves*, 2nd ed. Amsterdam. Elsevier.

Juberthie, C. (2000) The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the World. En: *Caves and other Subterranean Ecosystems of the world, Subterranean ecosystems*, **30**: 17-39. H. Wilkens, D.C. Culver and W.F. Humphreys (Eds.), Elsevier, Amsterdam.

Juberthie, C. y Decu, V. (Eds.) (1994) *Encyclopaedia Biospeologica* (**Vol. 1**). Società Internationale de Biospéologie (SIBIOS). Moulis & Bucarest: 1-834.

Juberthie, C. y Decu, V. (Eds.) (1998) *Encyclopaedia Biospeologica* (**Vol. 2**). Societ  Internationale de Biospéologie (SIBIOS). Moulis & Bucarest: 835-1373.

Juberthie, C. y Decu, V. (Eds.) (2001) *Encyclopaedia Biospeologica* (**Vol. 3**). Societ  Internationale de Biospéologie (SIBIOS). Moulis & Bucarest: 1374-2294.

Juget, J. y Dumnicka, E. (1986) Oligochaeta (Incl. Aphanoneura) des eaux souterraines continentales. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 234-244.

Junta de Castilla y León (2011): <http://www.jcyl.es/>.

Kaiser, H.F. (1960) The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, **20**: 141-151.

Kammerer, P. (1912) Experimente  ber Fortpflanzung, Farbe, Augen und K rperreduktion bei *Proteus anguinus*. Laur. Zugleich: Vererbung erzwungener Farbver nderungen. III. Mitteilung. *Archiv f  Entwicklungsmechanik*, **33**.

Kane, T.C., Culver, D.C. y Mathieu, J. (1994) Biotic fluxes and gene flow. En: J. Gibert, D. L. Danielopol y J. Stanford (eds). *Groundwater ecology*. Academic Press: New York: 245-259.

Karaman, S. (1934)  ber unsere unterirdische Fauna. *Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium*, **1**: 195-216.

Karaman, G. (1986) Description of *Haploginglymus mateusi*, new species of subterranean Gammaridea from Iberian Peninsula with remarks to other *taxa* of this genus (Fam. Niphargidae). *Poljoprivreda I Sumarstvo*, **32** (1): 75-90.

Karaman, G. y Ruffo, S. (1986) Amphipoda: Niphargus-group (Niphargidae *sensu* Bousfield, 1982). En: *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*. L. Botosaneanu (Ed.): 497-503.

Kiefer, F. (1930) Neue H hlenbewohnende Ruderfusskrebse. *Zoologischer Anzeiger*, **87** (9-10): 222-228.

Kiefer, F. (1931) Weing bekannte und neue Süßwasser-Copepoden aus Italien. *Zoologischer Anzeiger*, **87**: 697-712.

Kiefer, F. (1933) Ruderfußkrebse (Copepoda) aus der Adelsberger Höhle. *Mitteilungen über Höhlen und Karstforschung*: 36-39.

Kiefer, F. (1967) Neue Copepoda Harpacticoida aus dem Amazonasgebiet. *Crustaceana*, **13** (1): 114-122.

- Knapp, S.M. y Fong, D.W. (1999) Estimates of Population Size of *Stygobromus emarginatus* (Amphipoda: Crangonyctidae) in a Headwater Stream in Organ Cave, West Virginia. *Journal of Cave and Karst Studies*, **61** (1): 3-6.
- Langmuir, D. (1997) *Aqueous Environmental Geochemistry*. Prentice-Hall, Inc.: 600p.
- Lamarck, J.B. (1809) *Philosophie zoologique*. Paris (English translation by H. Elliot, The zoological philosophy), 1914, Macmillan, London. 458 p.
- Leijs, R., Roudnew, B., Mitchell, J. y Humphreys, B. (2009) A new method for sampling stygofauna from groundwater fed marshlands. *Speleobiology Notes*, **1**: 12-13.
- Lefébure, T., Dowady, C.J., Gouy, M., Trontelj, P., Briolay, J. y Gibert, J. (2006) Phylogeography of a subterranean amphipod reveals cryptic diversity and dynamic evolution in extreme environments. *Molecular Ecology*, **15** (7): 1797-1806.
- Lefébure, T., Douady, C.J., Malard, F. y Gibert, J. (2007) Testing vicariance and cryptic diversity in a widely distributed groundwater amphipod (*Niphargus rhenorhodanensis*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **42**: 676-686.
- Lescher-Moutoué, F. (1986) Copepoda Cyclopoida Cyclopidae des eaux douces souterraines continentales. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*. 299-312.
- Levins, R. y Culver, D.C. (1971) Regional coexistence of species and competition between rare species. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, **68**: 1246-1248.
- Longley, G. (1981) The Edwards Aquifer: Earth's most diverse groundwater ecosystem? *International Journal of Speleology*, **11**: 123-128.
- López-Camacho, D., García, M.A. y Cabrera, C. (1990) *Estudio mediante teledetección de los efectos derivados de la puesta en marcha del plan de regeneración hídrica del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel*. MOPU, Madrid.
- Macan, T.T. (1958) Methods of sampling the bottom fauna in stony streams. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* **8**: 1-21.
- Madelaine, E. (2006) <http://www-sop.inria.fr/agos-sophia/sis/DB/database.html>, del grupo espeleológico de Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA, Francia).
- Madoz, P. (1845) *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones en Ultramar*. **Tomo IX**: 232-233
- Magniez, G. (1968) L'espèce polytypique *Stenasellus virei* Dollfus, 1987 (Crustacé Isopode hypogé). *Annales de Spéléologie* **23** (2): 363-407.
- Magniez, G. (1974) Données faunistiques et écologiques sur les Stenasellidae. *International Journal of Speleology*, **6**: 1-80.
- Magniez, G.J. (2001) Données récentes sur les crustacés stygobies: Isopoda, Asellota, Aselloidea: Stenasellidae. *Mémoires de biospéologie*, **28**: 137-141.
- Mahoney, R. (1973) *Laboratory techniques in zoology*. Butterworths, London. 518 p.

Malard, F., Mathieu, J., Reygrobellet, J.L. y Lafont, M. (1997) Developments in sampling the fauna of deep water-table aquifers. *Archiv für Hydrobiologie*, **138**: 401-431.

Malard, F., M.J. Dole-Olivier, J. Mathieu, F. Stoch, A. Brancelj, A.I. Camacho, F. Fiers, D. Galassi, J. Gibert, T. Lefébure, P. Martín, B. Sket y A. G. Valdecasas (2002) *Sampling Manual for the Assessment of Regional Groundwater Biodiversity*. 74 p. Informe para la Unión Europea: PASCALIS Project (V Framework Programme. Key Action 2: Global Change, Climate and Biodiversity. 2.2.3 Assessing and conserving biodiversity). En: <http://www.pascalis-project.com>.

Malard, F., Boutin, C., Camacho, A. I., Ferreira, D., Michel, G., Sket, B. y Stoch, F. (2009), Diversity patterns of stygobiotic crustaceans across multiple spatial scales in Europe. *Freshwater Biology*, **54**: 756–776.

Mangin, A. (1974) Notion de systèmes karstiques. *Spelunca Mémoires*, **8**: 65-68.

Mangin, A. (1994) Karst Hydrogeology. En: *Groundwater Ecology, Aquatic Biology Series*. J. Gibert, D.L. Danielopol et. J.A. Stanford (Eds.). Academic Press, Inc. California (EEUU): 43-67.

Margalef, R. (1952) Materiales para la hidrobiología de la isla de Menorca. *Publicación del Instituto de Biología Aplicada*, **11**: 5-112.

Margalef, R. (1953) *Los crustáceos de las aguas continentales Ibéricas. Biología de las aguas continentales*, **X**. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid: 1-243.

Margalef, R. (1970a) Anfípodos recolectados en aguas subterráneas ibéricas. *Speleon*: **17**: 63-65.

Margalef, R. (1970b) Anfípodos recolectados en aguas subterráneas del País Vasco. *Munibe*: **22 (314)**: 169-174.

Margalef, R. (1976) Paralelismo entre la vida de las cavernas y de las grandes profundidades marinas. *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural de Baleares*, **21**: 10-20.

Martín, M.A. y Ortega, A. I. (2001) El complejo kárstico de Ojo Guareña (Merindad de Sotoscueva, Burgos). *SEDECK*, **2**: 36-42.

Martin, P., Martínez-Ansemil, E., Pinder, A., Timm, T. y Wetzel, M.J. (2008) Global diversity of oligochaetous clitellates ("Oligochaeta"; Clitellata) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595 (1)**: 117-127.

Martin, P., De Broyer, C., Fiers, F., Michel, G., Sablon, R. y Wouters, K. (2009), Biodiversity of Belgian groundwater fauna in relation to environmental conditions. *Freshwater Biology*, **54**: 814–829.

Mateus, A. y Mateus, E.O. (1958) Un nouveau genre et une nouvelle espèce d'Amphipode troglobie du Portugal. *Publicações do Instituto de Zoologia "Dr. Augusto Nobre"*, Universidad do Porto, Portugal, **59**: 1-15.

Mermillod-Blondine, F., des Châtelliers, M.C., Marmonier, P. y Dole-Olivier, M.J. (2000) Distribution of solutes, microbes and invertebrates in river sediments along a riffle-pool-riffle sequence. *Freshwater Biology*, **44**: 255-269.

Messouli, M., Messana, G. & Yacoubi-Khebiza, M. (2006) Three new species of *Pseudoniphargus* (Amphipoda), from the groundwater of three Mediterranean islands, with notes on the *Ps. adriaticus*. *Subterranean Biology*, **4(59)**: 79-101.

- Mestrov, M. (1962) Un nouveau milieu aquatique souterrain: le biotope hypotelmiorhéique. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, **254**: 2677-2679.
- Michel, G., Malard, F., Deharveng, L., Di Lorenzo, T., Sket, B. y De Broyer, C. (2009), Reserve selection for conserving groundwater biodiversity. *Freshwater Biology*, **54**: 861–876.
- Newman, D. y Newman, L. (2003) OziExplorer versión 3.95.4i (Brisbane, Australia) (<http://www.ozieplorer.com/>).
- Newman, D. y Newman, L. (2005) Ozi 3D versión 1.09 (Brisbane, Australia) (<http://www.ozieplorer.com/>).
- Notenboom, J (1986) The species of the genus *Pseudoniphargus* Chevreux, 1901 (Amphipoda) from northern Spain. *Bijdragen tot de Dierkunde*, **57** (1): 87-150.
- Notenboom, J. (1987) Lusitanian species of the Amphipod *Pseudoniphargus* Chevreux, 1901 with a key to all known Iberian species. *Bijdragen tot de Dierkunde*, **57** (2): 191-206.
- Notenboom, J. (1990) Introduction to Iberian groundwater Amphipods. *Limnetica*, **6** : 165-176.
- Notenboom, J. y Meijers, I. (1985) Investigaciones sobre la fauna de las aguas subterráneas de España: lista de estaciones y primeros resultados. *Verslagen en Technische Gegevens*. Instituut voor Taxonomische Zoölogie (Zoologische Museum). Universiteit von Amsterdam, **42**: 1-43.
- Notenboom, J., Hendrix, W. y Folkerts, A.J. (1996) Meiofauna assemblages discharged by springs from a phreatic aquifer system in the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, **30**: 1-13.
- Olivereau, M. et Francotte-Henry, M. (1956). Etude histologique et biométrique de la glande thyroïde de *Caecobarbus geertsii*. *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*, **86** (1). 24 p.
- Orghidan, T. (1959) Ein neues Lebensraum des unterirdischen Wasser: der Hyporheische Biotop. *Archiv für Hydrobiologie*, **55** (3): 392-414.
- Ortega, J. (1974) *La transformación de un espacio rural: Las Montañas de Burgos. Estudio de geografía regional*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. Secretariado de Publicaciones: Departamento de Geografía. 531p.
- Ortega, A.I. y Martín, M.A. (2001) La arqueología del complejo kárstico de Ojo Guareña (Merindad de Sotoscueva, Burgos). *Boletín nº2 de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst (SEDECK)*: 29-35.
- Ortiz, E. (1968) Algunos crustáceos y miriápodos cavernícolas. *Cuadernos de Espeleología*, **3**: 85-87.
- Packard, A.S. (1888) The cave fauna of North America, with remarks on the anatomy of the brain and origin of the blind species. *Memoirs National Académie of Sciences (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)*, Washington, **IV** (1): 1-27.
- Packard, A.S. (1894) On the origin of the subterranean fauna of North America. *American Naturalist*, **28**. 726 p.
- PASCALIS (Proyecto europeo: Protocols for the assessment and conservation of aquatic life in the subsurface): <http://www.pascalis-project.com>.
- Pennak, R. (1978) *Freshwater Invertebrates of the United States*. 2nd Ed. Wiley Interscience. New York, USA. 803 pp.

- Pérez-Íñigo, C. (1969) Bioespeleología de la cueva de Ojo Guareña. Ácaros oribátidos. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Biología)*, **67**: 143-160.
- Pesce G.L., Ciccicarese, G. y Onorato, R. (2004) Ricerche biologiche nell' acquifero del complesso carsico di Badisco (Otranto). *Thalassia Salentina, Lecce*, **27**: 91-97.
- Pfannkuche, O. (1986) Oligochaeta from marine and brackish-water subterranean habitats. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 245-249.
- Pielou, E.C. (1984) *Interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination*. New York: John Wiley y Sons. 263 p.
- Pipán, T. (2003) Ecology of copepods (Crustacea: Copepoda) in percolation water of the selected karst caves: Doctoral dissertation (in Slovene with English abstract and summary). Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana, Dept. of Biology.
- Pipán, T. (2004) Ecological and microgeographical study of an epikarstic fauna in West Virginia (U.S.A.). *Acta Carsologica*, **33/2 (16)**: 269-275.
- Pipán, T. (2005) Epikarst - A promising habitat. Copepod fauna, its diversity and ecology: a case study from Slovenia (Europe). *Carsologica*, **5**. ZRC Publishing, Karst Research Institute at ZRC SAZU, Ljubljana, Republike Slovenije. (Založba ZRC) 101 p.
- Pipán, T. y Brancelj, A. (2004) Diversity and peculiarity of epikarst fauna: case study from six caves in Slovenia (Europe): 119-126. En: Epikarst. *Proceedings of the symposium held October 1 through 4, 2003, Sheperdstown, West Virginia, USA*. Jones, W.K., Culver, D.C. y Herman, J.S. (eds.). Karst Waters Institute Special Publication, **9**, Charles Town, West Virginia.
- Pipán, T. y Culver, D. (2005) Estimating biodiversity in the epikarstic zone of a West Virginia cave. *Journal of Cave and Karst Studies*, **67 (2)**: 103-109.
- Pipán, T., Christman, M.C. y Culver, D.C. (2006a) Dynamics of Epikarst Communities: Microgeographic Pattern and Environmental Determinants of Epikarst Copepods in Organ Cave, West Virginia. *The American Midland Naturalist*, **156 (1)**: 75-87.
- Pipán, T., Blejec, A. y Brancelj, A. (2006b) Multivariate analysis of copepod assemblages in epikarstic waters of some Slovenian caves. *Hydrobiologia*, **559**: 213-223.
- Pipán, T. y Culver, D.C. (2007) Regional species richness in an obligate subterranean dwelling fauna – epikarst copepods. *Journal of Biogeography*, **34**: 854-861.
- Plummer, L.N., Parkhurst D.L., Fleming G.W. y Dunkle S.A. (1988) A computer program incorporating Pitzer's equations for calculation of geochemical reactions in brines. *US Geological Survey Water-Resources Investigations Report*. 310 p.
- Pospisil, P. (1992) Sampling methods for groundwater animals of unconsolidated sediments. En: The natural history of biospeleology. A.I. Camacho (Ed.). Monografías del Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, **vol. 7**: 107-134.
- Pretner, E. (1963) Kako zaštititi pecinsku FUNU Vjetrenice kod Zavale. *Treci jugoslavenski speleoloski Kongres, Sarajevo 1962*: 169-174.

- Pretus, J.L. y Sabater, F. (1990) A new *Haploginglymus* (Crustacea: Amphipoda) coexisting with *Niphargus* sp. in a spring south of Pyrenees (Catalonia, N.E. Spain). *Stygologia*, **5** (3): 143-152.
- Prieto, C. E. y Gómez, B. J. (1984) Primeros datos de *Zospeum* (Mollusca, Gastropoda, Ellobiidae) para la provincia de Burgos. II symposium regional de espeleología. Burgos. 12, 13 y 14 de octubre de 1984.
- Prieto, C. E., Gómez, B. J. y Zaldivar, P. (1984) La fauna cavernícola del complejo de Ojo Guareña. II symposium regional de espeleología. Burgos. 12, 13 y 14 de octubre de 1984.
- Prieto, C. E. y Zubiaga, A. (1984) El género *Ischyropsalis* C.L. Koch (Ischiropsalididae, Opiliones) en la provincia de Burgos. II symposium regional de espeleología. Burgos. 12, 13 y 14 de octubre de 1984.
- Puch, C. (1987) Atlas de las grandes cavidades españolas. Ed: Exploracions. Espeleo Club de Gràcia. Federació Española de Espeleología. 496 p.
- Puch, C. (1998) Grandes cuevas y simas de España. Ed: Espeleo Club de Gràcia. Barcelona. 816 p.
- Puig y Larraz, G. (1894) Cavernas y Simas de España. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, **2** (1). 392 p.
- Racovitza, E. (1907) Essai sur les problèmes Biospéologiques. *Archives de Zoologie expérimentale et générale, IV Série (Biospéologica)*, **6**: 371-488.
- Rambla, M. (1968) Contribución al estudio de los Opiliones de la Fauna Ibérica. Las especies del grupo *Nemastoma bacilliferum*, Simon, 1879 en la Península Ibérica (Opiliones, Fam. *Nemastomatidae*). Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada, **45**: 33-56.
- Renaud-Mornant, J. (1986) Tardigrada. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 254-262.
- Rohlf, F.J. (1992) NTSYS-PC. *Numerical taxonomy and multivariate analysis system*. Exeter Software.
- Romero, A. (2001) Scientists prefer them blind : the history of hypogean fish research. *Environmental Biology of Fishes*, **62** : 43-71.
- Rouch, R. (1977) Considérations sur l'écosystème karstique. *Comptes Rendus Académie des Sciences de Paris, Serie D.*, **284**: 1101-1103.
- Rouch, R. (1986) Copepoda: Les harpacticoides souterrains des eaux douces continentales. En: *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*. L. Botosaneanu (Ed.): 321-355.
- Rouch, R. y Danielopol, D.L. (1997) Species richness of Microcrustacea in subterranean freshwater habitats. Comparative analysis and approximate evaluation. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, **82**: 121-145. En Culver y Sket, 2000 de la tesis.
- Ruiz, F. G.E. Edelweiss (2002) Cronología de las referencias hidrogeológicas en torno al karst de Ojo Guareña. *Cubía* **4**: 14-31.
- Rundle, S.D., Robertson, A.L. y Schmid-Araya, J.M. (Eds.) (2002) *Freshwater meiofauna. Biology and ecology*. Backhuys Publishers, Leiden (Holanda). 369 p.
- Salgado, J. M. (1975) Nueva revisión sistemática y distribución geográfica de los *Bathysciinae* cavernícolas de los Montes Cantábricos. Tesis Doctoral.

Salgado, J. M. (1976) Orígenes e distribuição geográfica des Bathysciinae (Col. Catop.) cantábricos (Grupo Speocharis). *Ciencia Biológica* (Portugal) **1**: 105-130.

Sáenz, C (1933) Notas acerca de la Estratigrafía del Supracretáceo y del Numulítico en la cabecera del Nela y zonas próximas. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, **33**.

Santoyo, E., García, R., Martínez-Frías, J., López-Vera, F. y Verma, S. P. (2002) Capillary electrophoretic analysis of inorganic anions in atmospheric hailstone samples. *Journal of Chromatography*, **956**: 279-286.

Schiödte, J.C. (1849) *Specimen Faunae subterraneae. Bidrag til den underjordiske Fauna*.

Schmidl, A. (1854) *Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Lass*, Wien.

Schminke, H.K. (1986) Syncarida. *A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi*: 389-404.

Schwank, P. (1986) Microturbellaria from subterranean freshwater habitats. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 47-56.

Schwoerbel, J. (1986) Acari: Limnohalacaridae and Hydrivoliidae. En: L. Botosaneanu (Ed.) *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional and ecological synthesis of the World fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial)*: 643-647.

Simon, C.L., Frati, F., Beckenbach, A., Crespi, B., Liu, H., & Flook, P. (1994) Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene sequences and a compilation of conserved PCR primers. *Annals of the Entomological Society of America*, **87**: 51-701.

Sket, B. (1999a) High biodiversity in hypogean waters and its endangerment - The situation in Slovenia, the Dinaric Karst, and Europe. *Crustaceana*, **72** (8): 767-779.

Sket, B. (1999b) The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered. *Biodiversity and Conservation*, **8**: 1319-1338.

Smith, E.P. y Van Belle, G. (1984) Nonparametric estimation of species richness. *Biometrics*, **40**: 119-129.

Southwood, T.R.E. (1978) *Ecological Methods. With particular reference to the study of insect populations*. TRE., London, 524 p.

Stanford, J.A. y Gauvin, A.R. (1974) Hyporheic communities of two Montana Rivers. *Science*, **185**: 700-702.

Stanford, J.A. y Ward, J.V. (1993) An ecosystem perspective of alluvial rivers: Connectivity and the hyporheic corridor. *Journal of North American Benthological Society*, **12** (1), 48-60.

Stammer, H.J. (1932) Die fauna des Timavo. *Zoologische Jahrbuecher Abteilung fuer Systematik Oekologie und Geographie der Tierre*, **63**: 521-656.

Stoch, F. (1995) The Ecological and Historical Determinants of Crustacean Diversity in Groundwaters, or: Why Are There so Many Species? *Mémoires de Biospéologie*, **22**: 139-160.

Stoch, F. (1988) Secondo contributo alla conoscenza di calanoidi e dei ciklopoidi (Crustacea Copepoda) delle acque carsiche sotterranee della Venezia Giulia (Italia Nordorientale).

Stoch, F. (2000) How many endemic species? Species richness assessment and conservation priorities in Italy. *Belgian Journal of Entomology*, **2**: 125-133.

Stoch, F., Artheau, M., Brancelj, A., Galassi, D. M. P. y Malard, F. (2009), Biodiversity indicators in European ground waters: towards a predictive model of stygobiotic species richness. *Freshwater Biology*, **54**: 745–755.

Stock, J.H. (1977) The taxonomy and zoogeography of the hadziid Amphipoda with emphasis on the West Indian taxa. *Studies of the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **55 (177)**: 1-130.

Stock, J.H. (1980a) Découverte, dans le nord-ouest de l'Espagne, d'une deuxième espèce d'Haploginglymus, genre de crustacés amphipodes hypogés endémique de la Péninsule Ibérique. *Bulletin Zoologisch Museum Universiteit van Amsterdam*, **7 (14)**: 141-147.

Stock, J.H. (1980b) Regression model evolution as exemplified by the genus *Psedoniphargus* (Amphipoda). *Bijdragen tot de Dierkunde*, **7 (14)**: 141-147.

Stock, J.H., Iliffe, T.M. y Williams, D. (1986) The concept 'anchialine' reconsidered. *Stygologia*, **2**: 90-92.

Thiel, H. (1966) Quantitative Untersuchungen über die Meiofauna des Tiefseebodens. *Veröffentlichungen des Instituts für Meeresforschung Bremerhaven*, Sonderbd, **2**: 131-148.

Trontelj, P., Douady, C.J., Fišer, C., Gibert, J., Gorički, Š., Lefébure, T., Sket, B. y Zakšek, V. (2009) A molecular test for cryptic diversity in ground water: how large are the ranges of macro-stygobionts? *Freshwater Biology*, **54**: 727-744.

Valdecasas, A. G. y Baltanás, A. (1989) A note on the use of Angelier's fluid for freshwater invertebrates. *Archiv für Hydrobiologie*, **115 (2)**: 313-316.

Vandel, A. (1964) *Biospéléologie: la biologie des animaux cavernicoles*. Gauthier-Villars (Ed.). Paris. 619 p.

Verhoeff, C.W. (1898) Eine Worte über europäische Höhlenfauna. *Zoological Anzeiger*, **XXI**: 136-140.

Villota, J. y Galán, C. (1970) Complejo Lerzo-Anudia II – Sabe Saia-Ko-Lezia. *Munibe*: **22 (314)**: 175-182.

Viré, A. (1899) *Essai sur la faune obscuricole de France. Étude particulière de quelques formes zoologiques*. Paris, Bailière et Fils. 157 p.

Vives, M. (1975-1976) Coleópteros cavernícolas nuevos o interesantes de la Península Ibérica y Baleares. *Speleon*, **22**: 159-169.

Vives, M. (1977) Noves localitats de Trichoniscidae cavernícolas de la fauna espanyola (Crustacis: Isopodes : Oniscoides). Comunicacions del 6è. Simposium d'Espeleologia, Terrassa, 3 y 4 de diciembre de 1977.

Walsh, P., Metzger, D. y Higuchi, R. (1991) Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*, **10**: 506-513.

Wang, H. y Erséus, C. (2001) Marine Phalloporilinae (Oligochaeta, Tubificidae) of Hainan Island in southern China. *Hydrobiologia*, **462**: 199-204.

Ward, J.V., Malard, F., Stanford, J.A. y Gonser, T (2000) Interstitial aquatic fauna of shallow unconsolidated sediments, particularly hyporheic biotopes. En: *Caves and other Subterranean Ecosystems of the world, Subterranean ecosystems*, **30**: 41-59. H. D.C. Wilkens, D.C. Culver et. W.F. Humphreys (Eds.). Elsevier, Amsterdam.

Weissman, A. (1889) *Essays upon heredity and Kindred Biological Problems*. Clarendon Press, Oxford. 65 p.

Welch, P.S. (1948) *Limnological Methods*. McGraw-Hill. Nueva York. 381 p.

Wells, F.E., Walker, D.I. and Jones, D.S. (Eds.) (2003) *The marine flora and fauna of Dampier, Western Australia*. Western Australian Museum, Perth. 581 p.

White, W.B. (1988) *Geomorphology and Hydrology of Carbonate Terrains*. Oxford University Press, Oxford. 464 p.

White, D.S. (1993) Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society*, **12**: 61-69.

White, W.B. y Culver, D.C. (Eds.) (2012) *Encyclopedia of Caves*. Chennai: Academic Press. 966 p.

Wilkens, H., D.C. Culver y W.F. Humphreys (Eds.) (2000) *Subterranean Ecosystems. Ecosystems of the World*, **30**. Amsterdam: Elsevier. 791 p.

Williams, D.D. (1989) Towards a biological and chemical definition of the hyporheic zone in two Canadian rivers. *Freshwater Biology*, **22**: 189-208.

Wilson, G.D.F. (2008) Global diversity of Isopod crustaceans (Crustacea; Isopoda) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**: 231-240.

Apéndices

Apéndice 1

Fecha	Punto	Nombre del Punto	Hábitat	Localización	Tª °C	pH	O₂ %sat.	Cond. μS/cm	CL⁻ ppm	SO₄²⁻ ppm	Br⁻ ppm	NO₂⁻ ppm	NO₃⁻ ppm	PO₄H⁻ ppm	CO₃H⁻ ppm	F⁻ ppm	Form. ppm	Ca²⁺ ppm	Mg²⁺ ppm	NH₄⁺ ppm	K⁺ ppm	Na⁺ ppm
24/01/1998	1	Altar	Gour	Museo Cera	10,6	7,77	89,8	519	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	344,5	0,00	0,00	94,80	1,35	0,00	0,42	2,43
08/03/2003	1	Altar	Gour	Museo Cera	10,7	7,10	74,1	502	4,13	3,41	0,00	0,00	0,00	0,00	73,5	0,00	0,00	23,20	0,97	0,00	0,52	2,91
31/01/2004	1	Altar	Gour	Museo Cera	-	6,81	-	434	5,40	4,50	0,00	0,00	0,50	0,00	283,5	0,50	0,00	100,40	1,22	0,00	0,47	2,57
24/01/1998	2	Maccarroni	Gour	Gal. Teléfono	8,2	8,34	79,9	290	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	176,8	0,00	0,00	48,70	1,19	0,00	0,27	2,32
16/02/2002	2	Maccarroni	Gour	Gal. Teléfono	9,5	-	82,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08/03/2003	2	Maccarroni	Gour	Gal. Telefono	7,9	7,10	79,0	201	3,74	3,63	0,00	0,00	1,60	0,00	238,3	0,00	0,00	80,20	1,59	0,00	1,31	2,46
25/09/2004	2	Maccarroni	Gour	Gal. Telefono	9,4	7,25	86,0	288	4,73	5,10	0,00	0,00	1,73	0,00	170,7	0,00	0,00	49,80	1,70	0,00	0,46	2,50
01/06/2002	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,1	8,50	68,8	265	8,00	5,70	0,00	0,00	2,61	0,00	135,0	0,03	<1	40,00	1,50	0,00	1,10	2,48
25/01/2003	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	8,4	7,50	65,5	328	2,80	4,30	0,00	0,00	0,30	0,00	215,0	0,00	0,00	70,00	1,70	0,00	0,00	1,60
08/03/2003	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	8,2	7,80	65,3	165	5,47	4,70	0,00	0,00	1,07	0,00	308,6	0,00	0,00	97,90	1,61	0,00	1,57	2,39
04/04/2003	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	8,6	7,70	77,7	197	4,39	3,67	0,00	0,00	1,45	0,00	89,0	0,00	0,00	26,70	1,08	0,00	1,30	2,65
10/05/2003	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	8,6	7,70	86,2	259	4,40	4,00	0,00	0,00	2,00	0,00	115,0	0,00	0,00	36,70	1,51	0,00	1,43	2,84
07/06/2003	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	8,6	7,53	73,3	296	5,00	8,00	0,00	0,00	2,30	0,00	174,0	0,00	0,01	50,20	2,12	0,00	1,48	3,06
31/01/2004	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	-	7,40	-	359	4,80	4,50	0,00	0,00	1,40	0,00	289,6	0,00	0,00	88,60	1,58	0,00	0,51	2,34
24/04/2004	7	Gour Hojas 1	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	8,5	7,94	68,7	306	5,50	5,00	0,00	0,00	1,62	0,00	195,1	0,00	0,00	67,30	1,65	0,00	0,48	2,22
24/01/1998	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,4	8,26	90,0	330	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	253,1	0,00	0,00	78,00	1,59	0,00	0,29	2,23
01/06/2002	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,3	8,30	77,0	417	7,40	6,00	0,00	0,00	2,60	0,00	255,0	0,04	1,00	74,20	1,72	0,00	0,70	2,64
25/10/2002	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,0	7,92	82,0	483	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/11/2002	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,2	7,70	82,0	528	5,80	5,50	0,00	0,00	1,80	0,00	370,0	0,00	0,00	119,00	1,96	0,00	0,00	2,26
25/01/2003	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,1	7,60	84,7	508	3,70	4,50	0,00	0,00	0,40	0,00	300,0	0,00	0,00	95,00	2,10	0,00	0,00	1,50
08/03/2003	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,0	7,80	57,3	475	4,20	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,2	0,00	0,00	21,30	1,00	0,00	0,94	3,00
04/04/2003	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,9	7,60	75,7	443	4,66	4,71	0,00	0,00	1,45	0,00	250,0	0,00	0,00	74,80	1,60	0,00	0,23	3,01
10/05/2003	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,1	7,94	79,5	477	3,60	5,30	0,00	0,00	0,93	0,00	280,0	0,00	0,00	83,20	1,79	0,00	1,43	3,16
07/06/2003	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,3	7,54	89,4	386	4,90	5,10	0,00	0,00	1,20	0,00	245,0	0,00	0,02	68,20	1,83	0,00	0,57	3,00
24/04/2004	8	Gour Hojas 2	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,6	7,59	78,0	433	2,95	3,08	0,00	0,00	0,83	0,00	286,6	0,00	0,00	95,70	1,58	0,00	0,38	2,36
16/02/2002	9	Gran gour	Río	Sala Edelweiss	7,3	-	80,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/06/2002	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,3	8,55	61,5	255	2,60	4,20	0,00	0,00	1,30	0,00	134,0	0,00	<1	43,40	1,54	0,00	0,23	1,69
30/08/2002	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,8	7,50	76,0	312	5,10	5,10	0,00	0,00	2,80	0,00	206,0	0,00	0,00	65,70	2,10	0,00	0,17	1,50
25/10/2002	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,7	7,85	79,8	446	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/11/2002	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	8,1	7,60	79,3	294	25,70	4,10	0,00	0,00	16,10	0,00	283,0	0,05	0,00	109,70	2,70	0,00	0,00	1,60
25/01/2003	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,1	7,90	78,0	370	3,90	3,60	0,00	0,00	3,70	0,00	250,0	0,00	0,00	85,40	2,10	0,00	0,00	1,90
08/03/2003	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,6	8,00	78,4	369	4,10	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	113,0	0,00	0,00	38,10	1,10	0,00	0,26	2,10
04/04/2003	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	6,8	7,90	81,8	284	6,94	5,58	0,00	0,00	3,46	0,00	160,0	0,00	0,00	50,40	1,72	0,00	0,42	2,55
10/05/2003	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,8	7,77	72,2	326	5,38	4,91	0,00	0,00	2,92	0,00	155,0	0,00	0,00	50,40	1,72	0,00	0,22	2,32
07/06/2003	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,3	7,67	87,0	303	6,00	6,00	0,00	0,00	3,10	0,00	165,0	0,00	0,03	48,10	1,84	0,00	0,46	2,51
27/09/2003	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	8,0	7,16	80,0	313	4,83	5,28	0,00	0,00	2,43	0,00	189,0	0,00	0,00	52,90	1,91	0,00	2,04	2,04
31/01/2004	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	-	7,30	-	313	4,57	4,93	0,00	0,00	1,92	0,00	213,4	0,00	0,00	66,20	1,58	0,00	0,18	2,23
24/04/2004	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	7,0	7,92	78,6	267	5,18	5,52	0,00	0,00	5,23	0,00	192,6	0,00	0,00	66,30	1,74	0,00	0,20	2,19
25/09/2004	9	Gran gour	Gour	Sala Edelweiss	8,1	7,35	87,0	297	5,00	3,18	0,00	0,00	3,40	0,00	173,8	0,00	0,00	51,50	1,93	0,00	0,25	2,09
22/11/2002	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	9,3	8,10	79,8	479	5,20	5,20	0,00	0,00	1,60	0,00	360,0	0,00	0,00	102,00	2,72	0,00	0,00	4,53
25/01/2003	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	8,6	7,50	81,2	392	3,60	4,20	0,00	0,00	0,60	0,00	268,0	0,00	0,00	87,00	2,18	0,00	0,00	1,90
08/03/2003	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	8,3	7,80	67,8	418	6,10	5,00	0,00	0,00	1,16	0,00	192,8	0,00	0,00	65,70	1,72	0,00	0,30	2,64

Fecha	Punto	Nombre del Punto	Hábitat	Localización	T ^a °C	pH	O ₂ %sat.	Cond. μS/cm	CL ⁻ ppm	SO ₄ ⁼ ppm	Br ⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm	PO ₄ H ⁼ ppm	CO ₃ H ⁻ ppm	F ⁻ ppm	Form. ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Mg ⁺⁺ ppm	NH ₄ ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Na ⁺ ppm
04/04/2003	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	8,1	7,90	72,8	316	5,44	4,72	0,00	0,00	0,62	0,00	180,0	0,00	0,00	53,90	1,48	0,00	0,40	3,02
10/05/2003	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	8,6	8,02	77,6	405	3,77	4,44	0,00	0,00	0,99	0,00	240,0	0,00	0,00	68,00	1,76	0,00	0,30	3,15
07/06/2003	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	8,7	7,55	87,1	327	4,20	5,30	0,00	0,00	1,20	0,00	180,0	0,00	0,04	54,60	1,72	0,00	0,41	3,01
31/01/2004	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	-	7,20	-	339	4,91	4,72	0,00	0,00	1,18	0,00	237,8	0,00	0,00	76,00	1,37	0,00	0,21	2,34
24/04/2004	10	Gour Hojas 3	Charco	Gal. Principal	8,6	7,71	81,6	339	4,30	4,50	0,00	0,00	1,05	0,00	219,5	0,00	0,00	75,10	1,52	0,00	0,18	2,29
25/01/2003	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	4,7	6,60	86,0	127	1,80	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	76,0	0,00	0,00	23,50	1,25	0,00	1,40	1,20
08/03/2003	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	5,5	7,00	65,2	150	5,09	4,04	0,00	0,00	2,70	0,00	204,7	0,00	0,00	72,50	1,78	0,00	1,99	2,56
04/04/2003	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	5,2	7,50	80,9	146	4,38	4,23	0,00	0,00	1,28	0,00	63,2	0,00	0,00	19,50	1,18	0,00	1,82	2,77
10/05/2003	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	6,4	7,61	83,8	162	4,13	4,29	0,00	0,00	1,32	0,00	63,0	0,00	0,00	22,10	1,29	0,00	2,09	2,37
07/06/2003	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	6,2	7,58	87,5	164	4,30	7,10	0,00	0,00	1,40	0,00	80,0	0,00	0,05	24,40	1,55	0,00	1,85	2,83
27/09/2003	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	7,0	6,90	80,8	313	5,30	6,20	0,00	0,00	2,19	0,00	179,9	0,00	0,00	49,50	2,72	0,00	1,92	2,76
31/01/2004	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	-	7,35	-	265	6,16	7,01	0,00	0,00	2,08	0,00	176,8	0,00	0,00	49,20	3,61	0,00	1,35	2,47
24/04/2004	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	5,3	7,86	80,4	273	5,73	7,04	0,00	0,00	1,95	0,00	176,8	0,00	0,00	57,40	3,62	0,00	1,35	2,46
25/09/2004	12	Charco Italianos	Charco	Gal. Italianos	7,2	7,09	81,5	307	6,00	5,47	0,00	0,00	1,88	0,00	182,9	0,00	0,00	52,00	4,58	0,00	1,31	2,72
24/01/1998	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,5	7,09	88,8	480	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	314,0	0,00	0,00	90,70	2,88	0,00	1,62	2,90
16/02/2002	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,8	-	69,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/06/2002	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,3	8,63	85,6	472	20,40	9,50	0,00	0,00	0,60	0,00	225,0	0,04	1,00	64,60	2,42	0,00	0,25	3,09
30/08/2002	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,0	7,85	61,0	217	5,70	5,60	0,00	0,00	1,30	0,00	132,0	0,00	0,00	40,50	2,00	0,00	0,80	1,70
25/10/2002	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	7,8	8,27	76,9	475	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/11/2002	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,4	8,00	79,5	456	4,60	6,60	0,00	0,00	0,82	0,00	340,0	0,05	0,00	97,60	3,75	0,00	0,00	2,84
25/01/2003	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,4	7,70	80,8	521	3,50	5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	310,0	0,00	0,00	98,65	3,20	0,00	0,00	1,90
08/03/2003	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	9,3	8,10	78,2	588	4,70	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	296,0	0,00	0,00	90,40	2,80	0,00	1,08	2,70
04/04/2003	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	7,7	8,00	76,6	416	5,00	7,10	0,00	0,00	0,50	0,00	240,0	0,08	0,00	72,80	2,73	0,00	0,83	3,06
10/05/2003	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	9,4	8,20	73,5	470	4,60	20,10	0,00	0,00	1,52	0,00	265,0	0,00	0,00	86,30	2,98	0,00	0,76	2,85
07/06/2003	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,4	8,07	75,0	388	4,80	7,30	0,00	0,00	0,68	0,00	205,0	0,00	0,06	65,90	2,77	0,00	0,55	2,85
27/09/2003	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,4	7,74	61,0	243	6,10	6,30	0,00	0,00	1,27	0,00	137,2	0,00	0,00	41,40	1,81	0,00	0,39	2,56
31/01/2004	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	-	7,21	-	397	4,37	4,86	0,00	0,00	1,05	0,00	262,2	0,00	0,00	85,90	2,20	0,00	0,52	2,27
24/04/2004	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,2	8,07	78,5	393	5,25	8,00	0,00	0,00	2,40	0,00	268,3	0,00	0,00	91,60	2,64	0,00	0,93	2,45
25/09/2004	14	Granja Ortiz	Charco	Entrada cueva	8,4	7,15	63,0	230	6,33	5,16	0,00	0,00	1,24	0,00	128,1	0,00	0,00	38,30	1,86	0,00	0,43	2,53
30/08/2002	15	Gour Hojas 4	Gour	Gal. Principal	9,2	7,80	90,0	437	3,40	7,50	0,00	0,00	0,00	0,00	308,0	0,00	0,00	94,60	2,00	0,00	0,40	2,60
08/03/2003	15	Gour Hojas 4	Gour	Gal. Principal	9,6	8,00	64,7	415	3,50	3,40	0,00	0,00	1,30	0,00	233,0	0,19	0,00	78,20	1,58	0,00	0,41	2,23
31/01/2004	15	Gour Hojas 4	Gour	Gal. Principal	-	7,55	-	388	3,76	4,00	0,00	0,00	2,76	0,00	262,2	0,17	0,00	84,10	1,42	0,00	0,29	2,09
24/04/2004	15	Gour Hojas 4	Gour	Gal. Principal	8,7	7,95	80,8	339	3,60	4,21	0,00	0,00	2,70	0,00	219,5	0,00	0,00	75,00	1,50	0,00	0,25	1,80
08/03/2003	16	Gal. Principal	Charco	Enterramiento	5,7	7,20	78,2	379	5,60	0,00	0,00	0,00	4,60	0,00	285,0	0,00	0,00	102,50	1,40	0,00	0,27	2,54
31/01/2004	16	Gal. Principal	Charco	Enterramiento	-	7,30	-	365	6,53	5,00	0,00	0,00	2,97	0,00	256,1	0,26	0,00	81,90	1,52	0,00	0,22	2,33
27/09/2003	17	Sima Italianos	Charco	Charcosuperior	8,1	7,10	82,0	525	4,70	14,65	0,00	0,00	49,20	0,00	224,8	0,00	0,00	76,50	3,14	0,00	0,71	2,36
27/09/2003	18	Gal. Principal	Gour	Grandes Gours	8,4	7,15	84,0	380	5,40	5,33	0,00	0,00	1,72	0,00	243,9	0,35	0,00	67,90	1,97	0,00	0,36	2,79
31/01/2004	18	Gal. Principal	Gour	Grandes Gours	-	7,03	-	297	4,47	3,35	0,00	0,00	0,46	0,00	213,4	0,00	0,00	64,60	1,71	0,00	0,34	2,03
24/04/2004	18	Gal. Principal	Gour	Grandes Gours	7,6	7,92	77,2	274	4,66	4,21	0,00	0,00	0,56	0,00	186,0	0,00	0,00	63,40	1,74	0,00	0,22	2,07
25/09/2004	18	Gal. Principal	Gour	Grandes Gours	8,1	7,45	86,5	360	5,84	2,33	0,00	0,00	1,69	0,00	219,5	0,00	0,00	64,20	2,01	0,00	0,37	2,62
27/09/2003	19	Gal. Principal	Lago	Lago Sala de la Fuente	8,7	7,10	84,0	380	6,38	4,42	0,00	0,00	0,45	0,00	228,7	0,12	0,00	65,00	1,99	0,00	0,32	3,09
31/01/2004	19	Gal. Principal	Lago	Lago Sala de la Fuente	-	7,05	-	321	8,60	4,26	0,00	0,00	1,46	0,00	247,0	0,17	0,00	80,00	1,82	0,00	0,45	2,59

Fecha	Punto	Nombre del Punto	Hábitat	Localización	T ^a °C	pH	O ₂ %sat.	Cond. μS/cm	CL ⁻ ppm	SO ₄ ⁼ ppm	Br ⁻ ppm	NO ₂ ⁻ ppm	NO ₃ ⁻ ppm	PO ₄ H ⁼ ppm	CO ₃ H ⁻ ppm	F ⁻ ppm	Form. ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Mg ⁺⁺ ppm	NH ₄ ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Na ⁺ ppm
24/04/2004	19	Gal. Principal	Lago	Lago Sala de la Fuente	8,6	7,55	76,5	311	7,72	4,30	0,00	0,00	0,00	0,00	243,9	0,00	0,00	82,00	1,83	0,00	0,29	2,60
25/09/2004	19	Gal. Principal	Lago	Lago Sala de la Fuente	8,7	7,20	92,0	367	7,73	3,09	0,00	0,00	0,67	0,00	213,4	0,00	0,00	62,10	2,02	0,00	0,38	2,99
27/09/2003	20	Gal. Principal	Gour	Nuevo Paso	9,5	7,10	75,5	389	7,14	6,50	0,00	0,00	0,35	0,00	231,7	0,15	0,00	67,10	1,95	0,00	0,32	2,97
31/01/2004	20	Gal. Principal	Gour	Nuevo Paso	7,1	9,50	-	-	8,72	7,59	0,00	0,00	10,85	0,00	311,0	0,15	0,00	111,10	1,99	0,00	0,28	2,47
27/09/2003	21	Galeria Lagos	Lago	1 ^{er} Lago	9,9	7,53	72,3	-	7,46	8,05	0,00	0,00	1,57	0,00	249,0	0,14	0,00	72,00	2,42	0,00	0,21	3,09
31/01/2004	21	Galeria Lagos	Lago	1er Lago	-	7,09	-	467	8,72	7,59	0,00	0,00	10,85	0,00	311,0	0,15	0,00	111,10	1,99	0,00	0,28	2,47
31/01/2004	21	Galeria Lagos	Lago	2º Lago	-	7,08	-	464	8,75	7,97	0,00	0,00	13,64	0,00	307,9	0,15	0,00	108,80	2,50	0,00	0,36	2,59
24/04/2004	21	Galeria Lagos	Lago	2º Lago	9,9	7,53	76,4	467	8,24	8,00	0,00	0,00	6,30	0,00	307,9	0,00	0,00	104,20	2,14	0,00	0,23	2,80
24/04/2004	21	Galeria Lagos	Lago	3 ^{er} Lago	-	-	-	-	5,72	6,11	0,00	0,00	1,56	0,00	262,2	0,00	0,00	85,80	2,33	0,00	0,27	2,65
24/04/2004	21	Galeria Lagos	Lago	Gour entre lagos 3º y 4º	-	-	-	-	3,70	3,96	0,00	0,00	0,00	0,00	182,9	0,00	0,00	62,10	2,43	0,00	0,29	2,90
24/04/2004	21	Galeria Lagos	Lago	4º Lago	-	-	-	-	6,10	6,72	0,00	0,00	0,60	0,00	280,5	0,00	0,00	91,70	2,49	0,00	0,27	2,83
24/04/2004	21	Galeria Lagos	Lago	5º Lago	-	-	-	-	5,60	5,82	0,00	0,00	1,67	0,00	228,7	0,00	0,00	76,10	2,66	0,00	0,19	2,45
24/04/2004	21	Galeria Lagos	Lago	6º Lago	-	-	-	-	5,10	5,60	0,00	0,00	1,75	0,00	222,6	0,00	0,00	73,30	2,55	0,00	0,23	2,39
27/09/2003	30	Gal. Italianos (IT01)	Charco	1 ^{er} charco	10,4	7,04	-	-	0,87	29,06	0,00	0,00	54,63	0,00	246,0	0,00	0,00	85,60	4,40	0,00	3,06	3,62
27/09/2003	31	Gal. Italianos (IT02)	Gour	Marmita	9,5	-	-	-	6,25	21,21	0,00	0,00	18,15	0,00	249,5	0,15	0,00	78,00	3,99	0,00	0,90	4,26
27/09/2003	33	Laberinto Vitoria	Gour	Marmita	10,1	-	-	-	5,96	8,24	0,00	0,00	4,68	0,00	264,0	0,38	0,00	76,90	2,05	0,00	0,91	2,51
27/09/2003	34	Laberinto Vitoria	Lago	Laguito	-	-	-	-	5,42	13,55	0,00	0,00	31,11	0,00	250,0	0,12	0,00	80,00	2,49	0,00	1,49	2,50
28/09/2003	39	La Torcona	Charco	Marmita pozo 20	10,5	7,60	63,0	370	4,06	9,47	0,00	0,00	6,34	0,00	219,5	0,12	0,00	65,20	1,78	0,00	0,59	2,20
28/09/2003	40	La Torcona	Charco	Varias marmitas	10,7	7,15	29,0	310	4,30	20,45	0,00	0,00	3,23	0,00	158,5	0,00	0,00	51,80	1,80	0,00	1,43	2,15
28/09/2003	41	La Torcona	Charco	Marmita escondida	10,5	7,20	68,0	290	5,47	12,11	0,00	0,00	4,64	0,00	152,4	0,00	0,00	50,80	1,70	0,00	2,08	2,42
28/09/2003	42	La Torcona	Charco	Charco de paso	10,6	7,35	69,5	360	6,87	7,55	0,00	0,00	2,09	0,00	207,3	0,14	0,00	62,60	1,99	0,00	0,67	2,90
28/09/2003	43	La Torcona	Charco	Marmita lateral colgada	10,6	7,10	77,0	287	5,47	7,72	0,00	0,00	2,04	0,00	170,7	0,00	0,00	51,40	1,74	0,00	1,26	2,45
28/09/2003	44	La Torcona	Charco	Marmitas laterales	10,3	7,45	80,2	375	4,67	8,17	0,00	0,00	4,05	0,00	228,7	0,11	0,00	69,60	2,71	0,00	1,38	2,52
28/09/2003	45	La Torcona	Charco	Charco	10,4	7,15	75,0	282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/09/2003	46	La Torcona	Charco	Charco lateral	9,9	7,25	79,0	282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/09/2003	47	La Torcona	Charco	3 Charcos limpios	10,1	7,21	70,0	273	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/09/2004	50	G.Hojas a Cacique	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,3	7,2	73	322	5,68	3,16	0,00	0,00	2,38	0,00	176,8	0,00	0,00	52,30	1,90	0,00	0,34	2,53
25/09/2004	51	G.Hojas a Cacique	Charco	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,7	7,17	83	243	5,02	4,16	0,00	0,00	3,72	0,00	128,1	0,00	0,00	37,70	3,13	0,00	0,60	2,89
25/09/2004	52	G.Hojas a Cacique	Gour	Gal. Principal/Gal.Telf.	9,9	7,25	78	388	4,73	14,80	0,00	0,00	15,86	0,00	195,1	0,00	0,00	64,10	3,63	0,00	2,51	2,25
25/09/2004	53	G.Hojas a Cacique	Charcos	Gal. Principal/Gal.Telf.	10,2	7,3	86	276	5,15	3,30	0,00	0,00	0,91	0,00	152,4	0,00	0,00	40,20	4,59	0,00	0,32	2,73
25/09/2004	54	Sala de los Quesos	Charco	Sala del Cacique	9,9	7,2	90	294	6,27	3,73	0,00	0,00	8,77	0,00	164,6	0,00	0,00	50,50	2,00	0,00	0,23	2,41

Apéndice 2

Fecha	Nombre del pto.	Hábitat	T ^a	pH	O ₂	Cond.	CL ⁻	SO ₄ ⁼	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ H ⁼	CO ₃ H ⁻	F ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺
			°C		%sat.	μS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
26/01/2003	Sima Rizuelos	Charco	8,9	7,56	78,0	626	6,70	7,90	0,00	0,00	1,90	0,00	370,0	0,00	121,00	2,60	0,00	0,00	1,60
26/01/2003	Sima Rizuelos	Karaman	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2003	Kaite 2 - Final Sala	Gour	11,1	7,43	75,7	282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/01/2003	Kaite 2 - Centro Sala	Gour	10,2	4,73	78,3	300	5,10	8,10	0,00	0,00	1,30	0,00	235,0	0,00	83,80	3,88	0,00	0,00	1,63
25/01/2003	Kaite 2 - Entrada	Charco	9,6	7,72	77,2	398	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2003	Sima Jaime	Charco	12,9	7,41	77,2	420	3,80	5,20	0,00	0,00	0,65	0,00	272,0	0,00	84,59	1,85	0,00	0,00	1,60
26/04/2003	Cueva La Mina	Pequeños gours	12,2	7,70	81,6	384	11,46	13,82	0,00	0,00	0,00	0,00	230,0	0,00	79,80	3,98	0,00	0,53	5,40
26/04/2003	Cueva La Mina	Segundo gour	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/01/2003	Prado Vargas - Gour Cata Dcha.	Charco	11,9	7,41	81,3	427	2,50	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	295,0	0,00	92,10	2,10	0,00	0,00	2,50
26/01/2003	Prado Vargas - Gour Izquierda	Charco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/11/2002	Cueva Garcia	Removido charco	10,5	7,90	82,0	349	3,68	4,40	0,00	0,00	0,40	0,00	269,0	0,00	86,74	2,26	0,00	0,00	2,47
29/11/2002	Cueva Garcia	Gour en galería	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/11/2002	Cueva Garcia	Karaman (mini)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/04/2003	Cueva de San Bernabé	Removido fondo	12,0	7,85	75,9	440	6,03	7,43	0,00	0,00	0,00	0,00	216,8	0,00	70,30	1,97	0,00	0,58	3,22
04/04/2003	Sumidero Rio San Miguel	Removido poza	8,1	7,50	68,3	385	15,15	32,29	0,00	0,00	1,45	0,00	89,0	0,00	26,70	1,08	0,00	1,30	2,65
26/01/2003	Cueva de las Llanas - 1 ^{er} lago	Charcos	11,0	7,50	80,3	434	3,60	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	282,0	0,00	98,00	1,60	0,00	0,00	1,70
26/01/2003	Cueva de las Llanas - Acc.Lago	Charcos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24/11/2002	Cueva Cornejo	Marmita	10,0	7,10	71,0	438	1,80	4,50	0,00	0,00	12,30	0,00	300,0	0,00	91,39	4,15	0,35	0,00	1,91
24/11/2002	Cueva Cornejo	Charco-Marmita 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/11/2002	Cueva Racino	Charco grande	10,2	7,40	79,0	496	5,44	4,60	0,00	0,00	0,34	0,00	410,0	0,05	118,36	2,65	0,00	0,00	3,85
29/11/2002	Cueva Racino	Gour alto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/11/2002	Cueva Racino	Charco-gour	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/11/2002	Cueva Racino	Mini Karaman	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/04/2003	Cueva Redonda	Fondo arenoso	11,3	7,89	80,8	331	6,96	5,86	0,00	0,00	0,00	0,00	172,4	0,05	51,70	1,83	0,00	0,05	3,22
02/06/2002	La Torcona	Surgencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/11/2002	La Torcona	Surgencia	9,4	7,50	40,0	392	5,70	10,60	0,00	0,00	5,17	0,00	283,0	0,00	91,97	3,48	0,00	0,60	3,75
28/11/2002	La Torcona	Surgencia	9,3	7,60	50,0	404	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23/11/2002	Pozo del Infierno	Surgencia	12,4	7,10	75,9	431	3,90	10,50	0,00	0,00	0,27	0,00	352,0	0,05	105,30	5,30	0,00	0,00	3,30
30/11/2002	Fuente Cornejo	Surgencia	12,3	7,20	79,0	607	8,90	12,10	0,00	0,00	5,80	0,00	470,0	0,08	146,53	4,96	0,00	0,00	7,66
23/11/2002	Surgencia de la Mea-Quintanilla	Surgencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23/11/2002	Surgencia de la Mea-Quintanilla	Surgencia	11,0	6,80	76,0	545	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23/11/2002	Surgencia de la Mea-Quintanilla	Surgencia	11,2	7,20	77,7	533	3,70	4,60	0,00	0,00	0,30	0,00	403,0	0,00	112,76	4,10	0,00	0,00	4,20
29/11/2002	Fuente Villa	Surgencia	9,9	6,90	71,0	508	4,37	6,60	0,00	0,00	0,76	0,00	380,0	0,07	122,03	4,23	0,00	0,00	4,67
29/11/2002	Fuente Salce	Surgencia	9,6	7,10	70,0	519	4,00	5,80	0,00	0,00	0,30	0,00	335,0	0,05	104,50	1,33	0,00	0,00	1,80
23/11/2002	Fuente Cubío-Surgencia	Surgencia	10,3	7,00	53,3	552	5,30	31,00	0,00	0,00	0,82	0,00	375,0	0,12	110,84	5,70	0,00	0,00	7,60
24/11/2002	Fuente de la Calzada	Surgencia	11,5	7,40	78,5	554	5,70	6,90	0,00	0,00	4,50	0,00	380,0	0,00	127,60	3,75	0,00	0,00	1,80
29/11/2002	Fuente Jordana	Surgencia	8,4	7,10	53,0	630	3,30	9,60	0,00	0,00	8,10	0,00	425,0	0,00	118,80	1,93	0,00	9,70	8,94
24/11/2002	Fuente del Mazo (1)	Surgencia	11,1	6,80	76,3	552	4,80	15,80	0,00	0,00	0,00	0,00	385,0	0,00	112,33	4,54	0,00	0,00	2,70
24/11/2002	Fuente de los Avellanos	Surgencia	8,3	6,80	71,5	136	4,00	9,80	0,00	0,00	0,54	0,00	55,0	0,00	15,78	2,92	0,00	1,32	4,34
24/11/2002	Fuente del Mazo (2)	Surgencia	10,9	7,40	68,4	530	5,00	15,60	0,00	0,00	0,29	0,00	385,0	0,00	114,58	5,40	0,00	0,00	2,60

Fecha	Nombre del pto.	Hábitat	T ^a	pH	O ₂	Cond.	CL ⁻	SO ₄ ⁼	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ H ⁼	CO ₃ H ⁻	F ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺
			°C		%sat.	μS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
28/11/2002	Río Guareña- Cueva (pto. 1)	Interst. Hiporréico	9,9	7,30	8,0	645	20,00	14,50	0,00	0,00	0,34	0,00	390,0	0,09	121,07	7,10	0,00	0,50	9,60
26/11/2002	Río Ulemas- Cornejo (pto. 1)	Interst. Hiporréico	7,8	6,50	33,6	196	4,13	10,40	0,00	0,00	0,80	0,00	128,0	0,00	43,80	2,40	0,00	1,58	3,20
28/11/2002	Río Trema- Torme (pto. 3)	Interst. Hiporréico	11,0	6,80	32,0	1675	36,20	581,40	0,00	0,00	33,90	0,00	341,0	0,00	318,96	45,90	0,00	3,54	15,26
28/11/2002	Río Trema- Hornillayuso (pto. 2)	Interst. Hiporréico	9,3	7,30	4,0	241	3,45	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	182,9	0,00	54,40	3,30	0,00	0,75	10,70
28/11/2002	Río Trema- Cornejo (pto. 1)	Interst. Hiporréico	8,7	6,50	72,8	94	3,28	6,60	0,00	0,00	0,68	0,00	75,0	0,00	24,20	2,30	0,00	2,30	4,00
25/11/2002	Río Trueba- Machorras (pto. 1)	Interst. Hiporréico	7,4	7,80	58,8	209	2,60	4,10	0,00	0,00	0,79	0,00	164,0	0,00	52,25	2,18	0,00	0,74	1,90
25/11/2002	Río Trueba- Bárcenas (pto. 2)	Interst. Hiporréico	8,0	7,30	13,1	228	3,25	8,90	0,00	0,00	0,00	0,00	187,0	0,00	56,00	2,80	0,00	0,00	2,80
25/11/2002	Río Trueba- Espinosa (pto. 3)	Interst. Hiporréico	7,6	7,10	64,8	160	3,10	4,40	0,00	0,00	0,80	0,00	121,0	0,00	38,84	2,60	0,00	0,90	3,00
27/11/2002	Río Engaña-San Martín (pto. 1)	Interst. Hiporréico	8,6	6,80	39,5	184	2,70	8,10	0,00	0,00	1,00	0,00	233,0	0,00	63,35	6,09	0,00	7,91	0,00
27/11/2002	Río Nela Santelices (pto. 1)	Interst. Hiporréico	9,3	7,20	17,2	159	2,80	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	160,0	0,00	51,49	3,40	0,00	0,74	2,10
27/11/2002	Río Nela Puente de y (pto. 2)	Interst. Hiporréico	10,5	8,10	11,0	200	5,63	6,86	0,00	0,00	0,00	0,00	130,5	0,00	44,20	3,00	0,00	0,50	2,70
28/11/2002	Arroyo de la Hoz (pto. 1)	Interst. Hiporréico	9,2	7,50	59,0	517	9,20	18,40	0,00	0,00	1,40	0,00	380,0	0,09	114,66	5,62	0,00	0,00	9,35
28/11/2002	Río Trema (pto. 1)	Interst. Freático	7,8	6,70	68,9	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/11/2002	Río Trueba- Machorras (pto. 1)	Interst. Freático	7,0	7,60	63,3	171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/11/2002	Río Trueba- Espinosa (pto. 3)	Interst. Freático	7,9	7,60	80,0	162	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/11/2002	Río Engaña	Interst. Freático	7,6	6,90	69,0	135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/11/2002	Río Nela Santelices (pto. 1)	Interst. Freático	8,5	7,10	54,0	171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/11/2002	Río Nela Puente de y (pto. 2)	Interst. Freático	8,5	7,80	56,0	185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04/04/2003	Río Trema- Torme (pto. 3)	Interst. Freático	10,1	7,60	65,7	265	4,37	9,46	0,00	0,00	1,81	0,00	130,0	0,00	40,30	3,99	0,00	1,50	3,35
04/04/2003	Río Trema- Cornejo (pto. 1)	Interst. Freático	6,6	7,20	76,4	100	3,23	5,94	0,00	0,00	0,92	0,00	79,9	0,00	25,30	2,68	0,00	1,76	2,74
24/11/2002	Pozo Enfrente Torcón	Interst. Freático	11,0	7,00	32,7	449	6,70	13,70	0,00	0,00	9,20	0,00	298,0	0,08	97,62	4,23	0,00	0,00	5,62
30/11/2002	Pozo en Villabascos	Interst. Freático	11,8	7,10	23,0	491	3,80	33,20	0,00	0,00	7,30	0,00	320,0	0,06	100,90	7,20	0,00	0,70	2,75

Apéndice 3

Fecha	Punto	Hydras	Turbelarios	Rotíferos	Nematodos	Gasterópodos	Bivalvos	Hirudínea	Oligoquetos	Tardigrada	Hydracnelas	Limnolacáridos	Cladóceros	Ostrácos	Cop.Harpacticoides	Cop.ciclopoides	Syncarida	Anfípodos	Isópodos	Otos ácaros	Insecto larva - imago
16/02/2002	Sima Dolencias		2		13	5			12			1		5						si	si
02/06/2002	Sumidero Guareña																				
16/02/2002	OG.01								6					V	1	2	10			si	si
08/03/2003	OG.01													V			12				
31/01/2004	OG.01																75				
16/02/2002	OG.02													10							
01/06/2002	OG.02					3			10					3	3	16			4	si	
08/03/2003	OG.02				7				10				2	1	2	18				si	si
01/06/2002	OG.07				7		V		15+					14+	1	16+				si	si
30/08/2002	OG.07					1								24		2					
08/03/2003	OG.07				4				5						4	3				1	si
07/06/2003	OG.07				6				1		1?			6	5	22+				2	si
31/01/2004	OG.07				si	1			8+							si+				si	
24/04/2004	OG.07								si					si						si	si
16/02/2002	OG.08		1		3				6					5							
01/06/2002	OG.08				3				2					1							si
29/06/2002	OG.08					1			1							1					si
02/08/2002	OG.08																			si	si
30/08/2002	OG.08														1	1					si
24/09/2002	OG.08																				
25/10/2002	OG.08					2									1	17				1	si
22/11/2002	OG.08								1						1	1				1	si
22/11/2002	OG.08					1			6												
20/12/2002	OG.08				16				12	1			2	2	5	2				1	si
25/01/2003	OG.08				1				1							4					si
08/03/2003	OG.08				5		1		13					3	1	4				si	si
08/03/2003	OG.08				1				1						1						
04/04/2003	OG.08				1	1			5				1		5	4				1	si
10/05/2003	OG.08								2						6	1					
07/06/2003	OG.08				2						1				5	9					
07/06/2003	OG.08											1									
27/09/2003	OG.08					1									6					si	
27/09/2003	OG.08		1		1				6						4	8				si	
31/01/2004	OG.08				1				4						1						
24/04/2004	OG.08				si				si					si						si	si
24/04/2004	OG.08								3			1			1					si	
16/02/2002	OG.09					1							si	si	3						si
16/02/2002	OG.09								2	1							1				

Fecha	Punto	Hydras	Turbelarios	Rotíferos	Nematodos	Gasterópodos	Bivalvos	Hirudinea	Oligoquetos	Tardigrada	Hydracnelas	Limnohalacáridos	Cladóceros	Ostrácodos	Cop.Harpacticoides	Cop.ciclopoides	Syncarida	Anfípodos	Isópodos	Otos ácaros	Insecto larva - imago
16/02/2002	OG.09								si					2			11			si	si
01/06/2002	OG.09					1			3					4	4	8	4		1	1	si
29/06/2002	OG.09															1					
02/08/2002	OG.09															5					si
30/08/2002	OG.09											1		4						si	si
30/08/2002	OG.09															2					
24/09/2002	OG.09															5					
25/10/2002	OG.09															4					
22/11/2002	OG.09													3							
22/11/2002	OG.09					1								2							
22/11/2002	OG.09															6					
22/11/2002	OG.09					10			7					V		2	2				
20/12/2002	OG.09															2					
25/01/2003	OG.09															2					
08/03/2003	OG.09					1			8					1	2	4				1	si
08/03/2003	OG.09													1			1		1		
07/06/2003	OG.09				1	4			2					V							
27/09/2003	OG.09								1					si		si					
31/01/2004	OG.09					R	R							si		si+	2			si	
31/01/2004	OG.09					si			si					si		si	1			si	si
31/01/2004	OG.09								si					V	si	si	3			si	
24/04/2004	OG.09													si		si					si
24/04/2004	OG.09													V	si						
16/02/2002	OG.10				13				48			2		7	51	2				R	
01/06/2002	OG.10				14+				24+			1		17	17+	15+				R	
29/06/2002	OG.10								11			1		3	6	20				R	
02/08/2002	OG.10															11					si
30/08/2002	OG.10								1							6				si	si
24/09/2002	OG.10																				
25/10/2002	OG.10															1					si
22/11/2002	OG.10				2				26+					2	1	8			3	5	
22/11/2002	OG.10								18					8	1	19				1	
20/12/2002	OG.10				14					4		2	1	2		2				1	si
25/01/2003	OG.10				1									5		8					si
08/03/2003	OG.10				3									4	2	2					
07/06/2003	OG.10	1			4				12					2	4	2				2	si
31/01/2004	OG.10				16				9					si	5					2	si
24/04/2004	OG.10				si				si											si	si

Fecha	Punto	Hydras	Turbelarios	Rotíferos	Nematodos	Gasterópodos	Bivalvos	Hirudinea	Oligoquetos	Tardigrada	Hydracnelas	Limnohalacáridos	Cladóceros	Ostrácodos	Cop.Harpacticoides	Cop.ciclopoides	Syncarida	Anfípodos	Isópodos	Otos ácaros	Insecto larva - imago
01/06/2002	OG.12								4					8	2	12			6		
30/08/2002	OG.12								3					3		7			2	R	
24/09/2002	OG.12															3					
25/10/2002	OG.12															5			1		
22/11/2002	OG.12															4					
22/11/2002	OG.12					2			2					3	1	6			2		
20/12/2002	OG.12																				si
25/01/2003	OG.12															18+					
08/03/2003	OG.12				5							1		3		11					
07/06/2003	OG.12				2				1					1		32					
27/09/2003	OG.12				1	si			2					1	si	si					
27/09/2003	OG.12								si					si	si	si				si	si
27/09/2003	OG.12			si	si				si						si	si					
16/02/2002	OG.14					10	4		10		1?				7				10		
01/06/2002	OG.14					8			9			1		10	6	1			2	si	
29/06/2002	OG.14													V					16		
02/08/2002	OG.14																		1		si
30/08/2002	OG.14				1	2			6					7	1	3			1	si	
24/09/2002	OG.14															1			16		si
25/10/2002	OG.14															4			9		
22/11/2002	OG.14								1										4		
22/11/2002	OG.14															1			13		si
20/12/2002	OG.14					4			1						3	1	1		6		si
20/12/2002	OG.14																		2		
25/01/2003	OG.14					R								1	1	1			5		
08/03/2003	OG.14														1						si
08/03/2003	OG.14				12	8			9	1		1		12+	4	5			1	si	si
04/04/2003	OG.14																				si
10/05/2003	OG.14														1						si
07/06/2003	OG.14																				si
07/06/2003	OG.14		1		5	1			26					2	13	9			3	si	si
27/09/2003	OG.14				17+				12					5	25+	23+			10	si	si
27/09/2003	OG.14		2																		si
31/01/2004	OG.14								2					si	6				2	1	si
24/04/2004	OG.14					si			si					si					18	si	si
24/04/2004	OG.14					si														si	si
30/08/2002	OG.15				12	1			12					1	2	2				si	
22/11/2002	OG.15				14	R			4					3		9					

Fecha	Punto	Hydras	Turbelarios	Rotíferos	Nematodos	Gasterópodos	Bivalvos	Hirudinea	Oligoquetos	Tardigrada	Hydracnelas	Limnohalacáridos	Cladóceros	Ostrácodos	Cop.Harpacticoides	Cop.ciclopoides	Syncarida	Anfípodos	Isópodos	Otros ácaros	Insecto larva - imago
08/03/2003	OG.15				5				4					1	1						si
31/01/2004	OG.15		1		si+	2	V		40			1		15	20+	si				si	
24/04/2004	OG.15				si				10					si	si						
24/04/2004	OG.15				si				3					V							
16/02/2002	OG.16				2					1				V			22	R			
22/11/2002	OG.16								1							1	8				
08/03/2003	OG.16								3					1	5	4	1				1
31/01/2004	OG.16		1						si					1	1	4	4			R	si
27/09/2003	OG.17				si				si			2		si	si	si					si
27/09/2003	OG.18								si							si					
31/01/2004	OG.18					1										2					si
24/04/2004	OG.18				si									si							
27/09/2003	OG.19					4						3		V						si	
31/01/2004	OG.19					1								V							
24/04/2004	OG.19				si																
27/09/2003	OG.20														si						
27/09/2003	OG.21				2									V	si	si					
31/01/2004	OG.21														2						si
31/01/2004	OG.21																				
24/04/2004	OG.21																				
24/04/2004	OG.21															si			1		
24/04/2004	OG.21								si					si		si					R
24/04/2004	OG.21																				
24/04/2004	OG.21													V							
24/04/2004	OG.21													V		si					
24/04/2004	OG.21																				
24/04/2004	OG.21																				
27/09/2003	OG.30				si			1	si		1		si	si				2			si
27/09/2003	OG.31				si	si		1	si		1			si	si	si		3		si	si
27/09/2003	OG.31								si		1				si	si				si	si
27/09/2003	OG.32					si	1	1	si					si+	si	si+		si			si
27/09/2003	OG.33		1			1			si						si	si		1		si	
27/09/2003	OG.33		1													si		1		si	si
27/09/2003	OG.34				si	R						1		1	si	si		1			si
27/09/2003	OG.35				si				si					si	si	si+				si	
27/09/2003	OG.36				si	2	2	2			1			1	si	si+		3	3		si
27/09/2003	OG.37				si	1			si					V	si	si					si
27/09/2003	OG.38				si	4			si			4			si	si		1			

Apéndice 4

<div>Leyenda</div> <div>-----</div> <div>categoría ecológica de las especies:</div> <div>Rojo: estigobias</div> <div>Azul: estigófilas</div> <div>Negro: estigoxenas</div>									Cnidaria		Platyhelminthes						Mollusca								Annelida																																																																																																																																																															
											Turbellaria														Gastropoda				Bivalvia				Oligochaeta																																																																																																																																																							
			Hydroida indet.						-		Rotifera						-		Nematoda																																																																																																																																																																					
			Phagocata vitia								Prorhynchus stagnalis								Typhloplanidae indet.								Castrada sp.								Karchinorhynchus sp.																																																																																																																																																					
											Keratella sp.								Nematoda indet.								Ancyclus fluviatilis								Belgrandiella sp.								Potamopyrgus sp.								Zospeum sp.								Zonitidae indet.								Orculidae indet.								Pisidium amnicum								Pisidium casertanum								Pisidium personatum								Pisidium sp. (juveniles o deteriorados)								Aeolosoma sp.								Stylodrilus heringianus								Stylodrilus parvus								Trichodrilus pragensis								Trichodrilus tenuis								Gianius navarroi								Lumbriculidae indet.								Achaeta sp.								Cernosvitoviella sp.								Cognettia cf. glandulosa					
Fecha	Muestra	Punto \ sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																										
16/02/2002	Lago - Removido	Sima Dolencias		1			1			1					1	1																																																																																																																																																																								
02/06/2002	Sumidero - Cook	Sumidero Guareña																																																																																																																																																																																						
16/02/2002	Gour removido	1																																																																																																																																																																																						
08/03/2003	Gour removido	1																																																																																																																																																																																						
31/01/2004	Gour removido	1																																																																																																																																																																																						
01/06/2002	Gour removido	2												1									1	1			1																																																																																																																																																													
08/03/2003	Gour removido	2								1																		1	1																																																																																																																																																											
25/09/2004	Gour removido	2																																																																																																																																																																																						
01/06/2002	Removido charco	7								1									1								1	1	1																																																																																																																																																											
30/08/2002	Removido charco	7												1													1	1	1																																																																																																																																																											
08/03/2003	Removido charco	7								1																			1																																																																																																																																																											
07/06/2003	Removido charco	7								1																																																																																																																																																																														
31/01/2004	Removido charco	7																			1							1																																																																																																																																																												
24/04/2004	Removido charco	7																																																																																																																																																																																						
16/02/2002	Gour removido	8			1					1																		1																																																																																																																																																												
01/06/2002	Gour removido	8								1																		1																																																																																																																																																												
29/06/2002	Gour removido	8																										1																																																																																																																																																												
02/08/2002	Captación Goteo	8																																																																																																																																																																																						
30/08/2002	Captación Goteo	8																																																																																																																																																																																						
24/09/2002	Captación Goteo	8																																																																																																																																																																																						
25/10/2002	Captación Goteo	8												1																																																																																																																																																																										

	Annelida (cont.)																	Crustacea																								
	Oligochaeta (cont.)																	Copepoda Cyclopoida																								
	Enchytraeus sp.	Fridericia sp.	Henlea sp.	Marionina cf. argentea	Marionina sp.	Enchytraeidae indet.	Nais communis	Pristina (Pristinella) jenkiniae	Pristina sp.	Limnodrilus hoffmesiteri	Potamothrix bavaricus	Rhyacodrilus falciformis	Rhyacodrilus n.sp.1	Rhyacodrilus n.sp.2	Rhyacodrilinae indet.	Spirosperma velutinus	Tubificinae con sedas capilares	Dina cf. punctata	Glossiphonia complanata	Limnolacariidae indet. - Acari	Cladocera	Candona candida	Candona neglecta	Pseudocandona albicans	Candoninae cf. n.sp1 Redondeado	Pseudocandona n.sp.2 Trapezoide 1	Cypria sp.	Potamocypris cf. fulva	Acanthocyclops robustus	Acanthocyclops n.sp.1	Diacyclops bicuspidatus	Diacyclops bicuspidatus odessanus	Diacyclops bisetosus	Diacyclops crassicaudis	Diacyclops languidus	Diacyclops nanus	Diacyclops sp. (juveniles o deteriorados)	Eucyclops serrulatus	Graeteriella (Graeteriella) unisetigera			
Punto \ sp	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67			
Sima Dolencias																				1			1					1														
Sumidero																																										
Guareña																																										
1						1																																				
1																																										
1																																										
2				1				1				1																	1									1				
2		1				1						1									1								1					1						1		
2																																										
7				1											1								1	1		1		1	1			1				1						
7																								1				1						1								
7																																										
7																				1			1					1														
7			1	1									1																													
7																												1														
8						1									1																											
8																							1																			
8																																										
8																																										
8																																										
8																																										
8																																										

	Crustacea (cont.)													Tardigrada				Insecta		
	c.Cyclo. (cont.)	Harpact.	Amphip.	Isopoda	Bathynellacea															
	<i>Megacyclops viridis viridis</i>	<i>Paracyclops fimbriatus</i>	<i>Specocylops infernus</i>	<i>Bryocamptus (Bryocamptus) minutus</i>	<i>Parastenocaris</i> sp.	<i>Pseudoniphargus burgensis</i>	<i>Echinogammarus</i> sp.	<i>Stenasellus virei buchneri</i>	<i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i>	<i>Iberobathynella burgalensis</i>	<i>Vejdovskybathynella edelweiss</i> n.sp.	<i>Vejdovskybathynella</i> n.sp.1	<i>Bathynellidae</i> n.gen. n.sp.1	<i>Hypsibius pallidus</i>	<i>Itaquascon placophorum</i>	<i>Macrobiotus hufelandi</i> group	<i>Mixibius saracenus</i>	Diptera	Collembola	Coleoptera
Punto \ sp	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
Sima Dolencias																		1	1	
Sumidero																				
Guareña																				
1											1									1
1											1									
1											1									
2		1						1	1											
2		1																1	1	
2																				
7		1																1	1	
7		1																		
7																		1	1	
7																		1		
7																				
8																				
8																				
8																				
8			1																	
8																				
8			1																	

Fecha	Muestra	Punto \ sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
22/11/2002	Gour removido	8																												
22/11/2002	Captación Goteo	8												1														1		
20/12/2002	Captación Goteo	8								1																		1		
25/01/2003	Captación Goteo	8								1																			1	
08/03/2003	Gour removido	8								1								1									1	1	1	
08/03/2003	Captación Goteo	8								1																1		1		
04/04/2003	Captación Goteo	8								1				1													1			
10/05/2003	Captación Goteo	8																												
07/06/2003	Captación Goteo	8								1																				
07/06/2003	Gour removido	8																									1			
27/09/2003	Gour removido	8																												
27/09/2003	Captación Goteo	8								1																			1	
31/01/2004	Gour removido	8																										1		
31/01/2004	Captación Goteo	8																												
24/04/2004	Gour Removido	8																										1		
24/04/2004	Captación Goteo	8																												
25/09/2004	Captación Goteo	8																												
16/02/2002	Kicking lecho río	9																												
16/02/2002	Gour removido	9																												
16/02/2002	Karaman	9																												
01/06/2002	Gour removido	9																												
29/06/2002	Trampa con cebo	9																												
02/08/2002	Trampa con cebo	9																												
30/08/2002	Gour removido	9																												
30/08/2002	Trampa con cebo	9																												
24/09/2002	Trampa con cebo	9																												
25/10/2002	Trampa con cebo	9																												
22/11/2002	Gour removido	9																												
22/11/2002	Kicking lecho río	9																												
22/11/2002	Trampa con cebo	9																												
22/11/2002	Karaman (mini)	9																									1	1		
20/12/2002	Trampa con cebo	9																												
25/01/2003	Trampa con cebo	9																												
08/03/2003	Gour removido (50l)	9																								1	1			
08/03/2003	Karaman (mini)	9																												
04/04/2003	Gour removido	9																												
10/05/2003	Gour removido	9																												
07/06/2003	Gour removido	9								1																		1		
27/09/2003	Gour removido	9																												
31/01/2004	Gour removido	9																									1			

[illegible]

Fecha	Muestra	Punto \ sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
31/01/2004	Karaman Gour	9																												
31/01/2004	Karaman Río	9																												
24/04/2004	Gour removido	9																												
24/04/2004	Karaman	9																												
25/09/2004	Gour removido	9																												
16/02/2002	Removido charco	10								1																				
01/06/2002	Removido charco	10								1																	1		1	
29/06/2002	Trampa con cebo	10																												
02/08/2002	Trampa con cebo	10																												
30/08/2002	Trampa con cebo	10																												
24/09/2002	Trampa con cebo	10																												
25/10/2002	Trampa con cebo	10																												
22/11/2002	Trampa con cebo	10																												
22/11/2002	Removido charco	10								1																1				
20/12/2002	Trampa con cebo	10								1																				
25/01/2003	Trampa con cebo	10								1																				
08/03/2003	Removido charco	10								1																				
04/04/2003	Removido charco	10																												
10/05/2003	Removido charco	10																												
07/06/2003	Removido charco	10	1							1											1						1		1	
31/01/2004	Removido charco	10																												
24/04/2004	Removido charco	10																												
01/06/2002	Removido charco	12																				1						1		
30/08/2002	Removido charco	12																			1						1			
24/09/2002	Trampa con cebo	12																												
25/10/2002	Trampa con cebo	12																												
22/11/2002	Trampa con cebo	12																												
22/11/2002	Removido charco	12																			1									
20/12/2002	Trampa con cebo	12																												
25/01/2003	Trampa con cebo	12																												
08/03/2003	Removido charco	12								1																				
07/06/2003	Removido charco	12								1																				
27/09/2003	Removido charco	12							1	1																				
31/01/2001	Removido charco	12																												
24/04/2004	Removido charco	12																			1									
25/09/2004	Removido charco	12																												
16/02/2002	Removido charco	14																												
01/06/2002	Bombeo manual	14																									1			
29/06/2002	Captación goteo	14																												

[illegible]

Punto \ sp	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
9											1									
9											1		1							
9																				
9																				
9																				
9																				
10																				
10			1																	
10	1	1																		
10	1																			
10																				
10	1	1																		
10																				
10																				
10	1							1												
10														1			1		1	
10	1																			
10				1																
10																				
10																				
10																		1	1	
10																				
10																				
12									1											
12									1											
12																				
12									1											
12																				
12									1											
12																		1		
12																				
12																			1	
12																		1		
12																				
12																				
12																				
12									1											
14			1					1												
14			1					1												
14								1												

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Fecha	Muestra	Punto \ sp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
25/09/2004	Lago removido	19																												
27/09/2003	Removido charco	20																												
27/09/2003	Removido Lago 1º	21								1																				
31/01/2004	Removido Lago 1º	21																												
31/01/2004	Red Cvetkov Lago 2º	21																												
24/04/2004	Red Cvetkov Lago 2º	21																												
24/04/2004	Red Cvetkov Lago 3º	21																												
24/04/2004	Removido Gour 3º-4º	21																												
24/04/2004	Red Cvetkov Lago 4º	21																												
24/04/2004	Red Cvetkov Lago 5º	21																												
24/04/2004	Red Cvetkov Lago 6º	21																												
27/09/2003	Removido charco	30								1																				
27/09/2003	Kicking	31								1																				
27/09/2003	Removido charco	31																												
27/09/2003	Removido charco	32									1								1											
27/09/2003	Removido charco.LV1	33								1	1																			
27/09/2003	Removido charco.LV2	33				1																								
27/09/2003	Removido charco	34								1	1																			
27/09/2003	Removido charco	35								1																				
27/09/2003	Removido charco	36								1	1						1													
27/09/2003	Removido charco	37								1																				
27/09/2003	Removido charco	38								1	1																			
28/09/2003	Removido charco	39								1	1									1							1	1		
28/09/2003	Removido charco	40																	1											
28/09/2003	Removido charco	41								1																				
28/09/2003	Removido charco	42								1	1								1									1		
28/09/2003	Removido charco	43								1	1	1																		
28/09/2003	Removido charco	44										1																		
28/09/2003	Removido charco	45								1																		1		
28/09/2003	Removido charco	46								1		1																		
28/09/2003	Removido charco	47																												
24/09/2004	Removido charco	50																												
24/09/2004	Removido charco	51																												
24/09/2004	Removido charco	52																												
24/09/2004	Removido charco	53																												
24/09/2004	Removido charco	54																												

[illegible]

Punto \ sp	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
19																				
20																				
21																				
21																				
21																				
21																				
21								1												
21																				
21																				
21																				
21																				
30							1													
31							1													
31																				
32							1													
33							1													
33							1													
34							1													
35																				
36							1													
37																				
38					1															
39							1	1												
40	1						1	1												
41																				
42																				
43							1													
44							1	1												
45						1														
46						1														
47																				
50													1							
51																				
52																				
53								1		1		1								
54																				

Apéndice 5

Fecha	Nombre del punto	Habitat	Nemátodos	Oligoquetos	Turbelarios	Hirudinea	Tardígrados	Hydras	Hydracnelas	Limnolacáridos	Otos ácaros	Gasterópodos	Bivalvos	Lapas	Ostrácodos	Cop.ciclopoides	Cop.Harpacticoides	Cop.parastenocaris	Anfípodos	Isópodos	Bathynellas	Cladóceros	Colémbolos	Arañas	Coléopteros	Plecópteros	Efemerópteros	Miriápodos	Dipteros	Tricópteros
25/01/2003	Sima Rizuelos	Charco								1					1		2													
25/01/2003	Sima Rizuelos	Karaman	1	18																								si		
24/01/2003	Kaite 2	Gour	1									1					4								si					
24/01/2003	Kaite 2	Gour															15+						si		si					
24/01/2003	Kaite 2	Charco	10														3						si	si	si					
25/01/2003	Sima Jaime	Charco									si	14			14+														si	
25/01/2003	Sima Jaime	Karaman	1												v						1									
25/04/2003	Cueva La Mina	Pequeños gour																			1									
25/04/2003	Cueva La Mina	Segundo gour	3								1				8		1													
25/01/2003	Cueva Prado Vargas	Charco																			1		si							
25/01/2003	Cueva Prado Vargas	Charco	1	R												1					2				si					
28/11/2002	Cueva Garcia	Removido charco	6	4	1		2				si	3				20	5			3			si		si	si			si	
28/11/2002	Cueva Garcia	Gour	5						1	2	si	2				1	7			1			si		si	si	si		si	
28/11/2002	Cueva Garcia	Karaman (mini)										4				2	1						si							
25/04/2003	Cueva de San Bernabé	Removido fondo													1	1				3					si					
03/04/2003	Sumidero Rio San Miguel	Removido poza	14	12		3	1	1	2	si		4			20+	40+							si			si	si	si		
25/01/2003	Cueva de las Llanas	Charcos													7+									si	si				si	
25/01/2003	Cueva de las Llanas	Charcos	1													1			3											
23/11/2002	Cueva Cornejo	Marmita																												
23/11/2002	Cueva Cornejo	Charco-Marmita 2										6			4										si				si	
28/11/2002	Cueva Racino	Charco grande		1												3	2													
28/11/2002	Cueva Racino	Gour alto	2								si				1+V	2	1						si		si					
28/11/2002	Cueva Racino	Charco-gour														3										si			si	
28/11/2002	Cueva Racino	Karaman (mini)		1											11		2				21		si							
(26-04-03)	Cueva Redonda	Removido fondo	6							C		1		1			8					6		si						
01/06/2002	La Torcona (Surgencia)	Karaman	12	6							4	12			11				1		1		si		si					
27/11/2002	La Torcona (Surgencia)	Tubo A (5l)		1								2			23	1										si	si			
27/11/2002	La Torcona (Surgencia)	Removido fondo	40+	34+						5	28				12	63+	9					4	si			si				
22/11/2002	Pozo Infierno-Valdebodres	Removido fondo																												
29/11/2002	Fuente Cornejo	Manga	1												2	2														
22/11/2002	Surgencia Mea-Quintanilla	Manga	2	1							si					5	6		1						si			si	si	
22/11/2002	Surgencia de la Mea-Quintanilla	Removido fondo																												
22/11/2002	Surgencia de la Mea-Quintanilla	Removido piedras	8	16							11	5		1		37+	38+			2					si				si	
28/11/2002	Fuente Villa (9 l/minuto)	Removido fondo	7	5					8		7	17	1	2	42+	56+	2						si	si	si	si			si	
28/11/2002	Fuente Salce (0,5 l/minuto)	Removido fondo	10	4							si	13	1		22+	15+	15+			1			si		si	si			si	si
22/11/2002	Fuente Cubío-Surgencia	Removido fondo	38+	13+			99+				2	13	37		35	39+	24				1				si	si			si	
23/11/2002	Fuente de la Calzada	Removido fondo		17+	13				3	15	si	2			5	16+	15+		18						si				si	si
28/11/2002	Fuente Jordana	Removido fondo	37+	46+					1	2	2	24			45+	40+	31+					35+	si						si	

|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Apéndice 6

<div>Leyenda</div> <div>-----</div> <div>categoría ecológica de las especies:</div> <div>Rojo: estigobias</div> <div>Azul: estigófilas</div> <div>Negro: estigoxenas</div>						<div><div>Hydroida indet.</div><div>-</div><div>Cnidaria</div><div>Turbellaria indet.</div><div>-</div><div>Platyhelminthes</div><div>Nematoda indet.</div><div>-</div><div>Nematoda</div><div>Ancylus fluviatilis</div><div>Belgrandiella cantabrica</div><div>Belgrandiella ovetensis</div><div>"Paladilhopsis" septentrionalis</div><div>Potamopyrgus antipodarum</div><div>Spiralix (Burgosia) burgensis</div><div>Lymnaea peregra</div><div>Lymnaea truncatula</div><div>Gyraulus sp.</div><div>Aron sp.</div><div>Carychium sp.</div><div>Zospeum sp.</div><div>Pisidium casertanum</div><div>Pisidium personatum</div><div>Pisidium sp. (juveniles o deteriorados)</div><div>Aelosomatidae indet.</div><div>Eiseniella tetraedra</div><div>Stylodrilus heringianus</div></div>																		<div>Mollusca</div> <div>Gastropoda</div>		<div>Bivalvia</div>		<div>Annelida</div> <div>Oligochaeta</div>	
Localización	Fecha	Precisión del punto \ nº especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21						
Sima Rizuelos (1)	26/01/2003	Charco encondido lateral dcho.																											
Punto 2		Charquito central. Karaman			1																								
Kaite 2 (Punto 1)	25/01/2003	Gour final sala			1												1												
Punto 2		Gour centro sala																											
Punto 3		Gour entrada			1																								
Sima Jaime (Punto 1)	26/01/2003	Charco en sifón							1																				
Punto 2		Karaman - Arenas blancas			1																								
Cueva la Mina (P. 1)	26/04/2003	pequeños gour																											
Punto 2		segundo gour			1																								
Cueva Prado Vargas (P.1)	26/01/2003	Gour cata derecha																											
Punto 2		Gour izquierda			1																								
Cueva García	29/11/2002	Removido charco-gour final			1												1												
Punto 2		gour en galería de entrada			1														1										
Punto 3		Karaman (mini)														1													
Cueva S. Bernabe	26/04/2003	Removido fondo gour																											
Sumidero R. S. Miguel	04/04/2003	Pequeña poza	1		1																								
Cueva de las Llanas (P. 1)	26/01/2003	Primer lago																											
Punto 2		Acceso al primer lago			1																								
Cueva Cornejo (Punto 1)	24/11/2002	Marmita																											
Punto 2		charco-Marmita 2															1												
Cueva Racino (Punto 1)	29/11/2002	Charco grande																											

[illegible]

	Acari										Crustacea																											
	Hydrachnellae										Ostracoda										Copepoda Cyclopoida																	
Localización \ nº sp	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Sima Rizuelos (1)									1																													
P. 2																																						
Kaite 2 (P. 1)																																						
P. 2																																						
P. 3																																						
Sima Jaime (P. 1)																1			1																			
P. 2																																						
C. la Mina (P. 1)																1																						
P. 2																																						
Prado Vargas (P.1)																																						
P. 2																																						
C. García									1																													
P. 2																																						
P. 3																																						
C. S. Bernabe																												1										
Sumidero S. Miguel				1				1					1	1							1									1				1				
C. las Llanas (P. 1)																1																						
P. 2																																						
C. Cornejo (P. 1)																																						
P. 2																																						
C. Racino (P. 1)																																		1				

	Tardigrada										Insecta						
	<i>Dactylobiotus dispar</i>	<i>Dactylobiotus partenogeneticus</i>	<i>Hypsibius</i> sp.	<i>Hypsibius convergens</i>	<i>Hypsibius dujardini</i>	<i>Isohypsibius marcellinoi</i>	<i>Isohypsibius</i> sp.	<i>Macrobiotus richtersi</i> group	<i>Milnesium</i> sp.	<i>Pseudobiotus megalonyx</i>	Diptera	Collembola	Araneae	Coleoptera	Plecoptera	Ephemeroptera	Miriapoda
Localización \ nº sp	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
Sima Rizuelos (1)																	
P. 2																	
Kaite 2 (P. 1)														1			
P. 2												1		1			
P. 3												1	1	1			
Sima Jaime (P. 1)											1						
P. 2																	
C. la Mina (P. 1)																	
P. 2																	
Prado Vargas (P.1)												1					
P. 2																	
C. García							1	1			1	1		1	1		
P. 2												1		1	1	1	
P. 3																	
C. S. Bernabe														1			
Sumidero S. Miguel											1	1			1	1	1
C. las Llanas (P. 1)											1			1	1		
P. 2																	
C. Cornejo (P. 1)																	
P. 2											1			1			
C. Racino (P. 1)																	

[illegible]

8/15

	<i>Eucyclops</i> cf. <i>macruroides</i>	<i>Eucyclops</i> <i>serrulatus</i>	<i>Eucyclops</i> <i>speratus</i>	<i>Macrocyclus</i> <i>albidus</i>	<i>Megacyclus</i> <i>viridis</i> <i>viridis</i>	<i>Paracyclus</i> <i>imminutus</i>	<i>Speocyclops</i> <i>sebastianus</i>	<i>Speocyclops</i> <i>spelaeus</i>	<i>Tropocyclops</i> <i>prasinus</i>	-----	<i>Attheyella</i> (<i>Attheyella</i>) <i>crassa</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Bryocamptus</i>) <i>minutus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Limocamptus</i>) <i>echinatus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>pygmaeus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>pyrenaicus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>zschokkei</i>	<i>Canthocamptus</i> <i>staphylinus</i>	<i>Epactophanes</i> <i>richardi</i>	<i>Maraenobiotus</i> <i>vejvodskyi</i> <i>truncatus</i>	<i>Paracamptus</i> <i>schmeili</i>	<i>Paracamptus</i> sp. SA	<i>Parastenocaris</i> sp.	<i>Haploginglymus</i> sp.	<i>Echinogammarus</i> sp.	<i>Stenasellus</i> <i>virei</i> <i>buchneri</i>	<i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i>	<i>Iberobathynella</i> <i>cornejoensis</i>	<i>Vejdovskybathynella</i> <i>edelweiss</i> n.sp.	<i>Vejdovskybathynella</i> n.sp.2	<i>Bathynellidae</i> n.gen. n.sp.1
Localización \ nº sp	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	
P. 2														1																
P. 3														1																
P. 4														1														1		
C. Redonda														1													1		1	
La Torcona (P. 1)																														1
P. 2																														
P. 3		1			1				1	1		1							1											
Pozo del Infierno																														
Fuente Cornejo									1																					
Surgencia Mea										1													1							
P. 2																														
P. 3		1				1						1														1				
Fuente Villa		1							1																					
Fuente Salce																									1					
Fuente Cubio		1								1																		1		
Fuente la Calzada						1				1		1			1								1							
Fuente Jordana																1														
Fuente Mazo- 1		1				1			1	1		1																		
Fuente Avellanos			1							1	1	1				1				1						1				
Fuente Mazo- 2																														
R. Guareña- 1																														
R. Ulemas- 1																														
R. Trema- 3																							1							

	<i>Dactylobiotus dispar</i>	<i>Dactylobiotus partenogeneticus</i>	<i>Hypsibius</i> sp.	<i>Hypsibius convergens</i>	<i>Hypsibius dujardini</i>	<i>Isohypsibius marcellinoi</i>	<i>Isohypsibius</i> sp.	<i>Macrobiotus richtersi</i> group	<i>Milnesium</i> sp.	<i>Pseudobiotus megalonyx</i>	Diptera	Collembola	Araneae	Coleoptera	Plecoptera	Ephemeroptera	Miriapoda
Localización \ nº sp	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
P. 2												1		1			
P. 3											1	1			1		
P. 4												1					
C. Redonda												1					
La Torcona (P. 1)												1		1			
P. 2															1	1	
P. 3												1			1		
Pozo del Intierno																	
Fuente Cornejo																	
Surgencia Mea											1			1			1
P. 2																	
P. 3											1			1			
Fuente Villa											1	1		1	1		
Fuente Salce											1	1		1	1		
Fuente Cubio										1	1			1	1		
Fuente la Calzada											1			1			
Fuente Jordana											1	1					
Fuente Mazo- 1											1	1	1	1	1		
Fuente Avellanos		1									1				1		
Fuente Mazo- 2											1				1		
R. Guareña- 1																	
R. Ulemas- 1											1			1	1		
R. Trema- 3														1			

			Hydroida indet.	-	Cnidaria																		
			Turbellaria indet.	-	Platyhelminthes																		
			Nematoda indet.	-	Nematoda																		
			Ancylus fluviatilis																				
			Belgrandiella cantabrica																				
			Belgrandiella ovetensis																				
			"Paladilhiosis" septentrionalis																				
			Potamopyrgus antipodarum																				
			Spiralix (Burgosia) burguensis																				
			Lymnaea peregra																				
			Lymnaea truncatula																				
			Gyraulus sp.																				
			Aron sp.																				
			Carychium sp.																				
			Zospeum sp.																				
			Pisidium casertanum																				
			Pisidium personatum																				
			Pisidium sp. (juveniles o deteriorados)																				
			Aelosomatidae indet.																				
			Eiseniella tetraedra																				
			Stylodrilus heringianus																				
	Fecha	Precisión del punto \ nº especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	02/06/2002	Tubo Bou-Rouch 3			1						1									1			
	28/11/2002	Tubo Bou-Rouch 1			1	1			1														
R. Trema- 2	28/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1	1														1			1
R. Trema- 1	28/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1																		
R. Trueba- 1	25/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1						1												
R. Trueba- 2	25/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1																		
R. Trueba- 3	25/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1	1				1		1											
R. Engaña	27/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1																		
R. Nela- 1	27/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1	1																	
R. Nela- 2	17/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1																		
Arroyo Hoz	28/11/2002	Tubo Bou-Rouch			1				1														
Pozo frente Torcón	24/11/2002	Manga freatobiológica			1									1									
Pozo en chalet	30/11/2002	Manga freatobiológica																					
R. Trueba-1	25/11/2002	Karaman			1																		
R. Trueba-3	25/11/2002	Karaman			1											1						1	
R. Trema-1	28/11/2002	Karaman			1																		
R. Engaña	27/11/2002	Karaman			1															1			
R. Nela- 1	27/11/2002	Karaman			1																		
R. Nela- 2	27/11/2002	Karaman			1																		
R. Trema- 1	04/04/2003	Karaman			1																		
R. Trema- 3	04/04/2003	Karaman			1																		

[illegible]

[illegible]

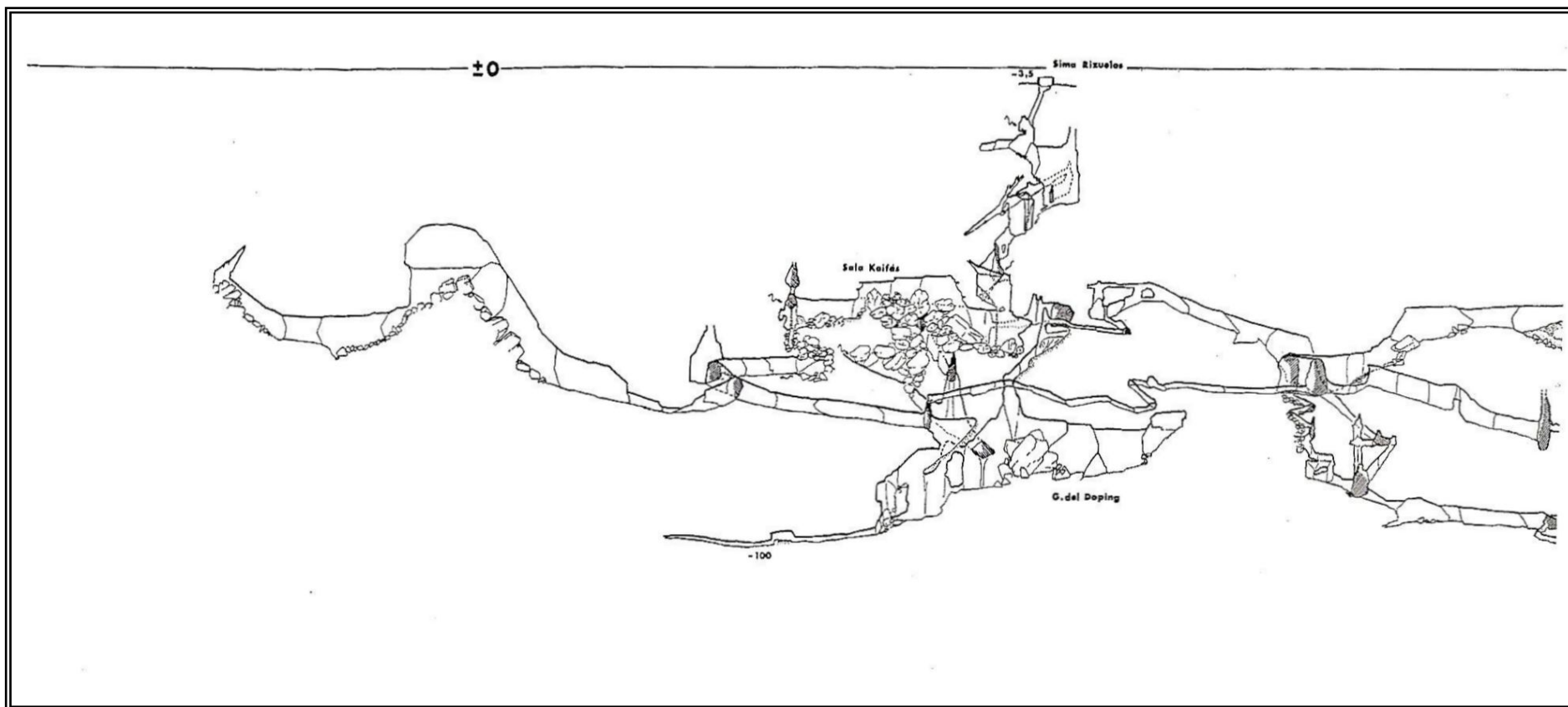
	<i>Eucyclops</i> cf. <i>macruroides</i>	<i>Eucyclops</i> <i>serrulatus</i>	<i>Eucyclops</i> <i>speratus</i>	<i>Macrocyclus</i> <i>albidus</i>	<i>Megacyclus</i> <i>viridis viridis</i>	<i>Paracyclus</i> <i>imminutus</i>	<i>Speocyclops</i> <i>sebastianus</i>	<i>Speocyclops</i> <i>spelaus</i>	<i>Tropocyclops</i> <i>prasinus</i>	<i>Attheyella</i> (<i>Attheyella</i>) <i>crassa</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Bryocamptus</i>) <i>minutus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Limocamptus</i>) <i>echinatus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>pygmaeus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>pyrenaicus</i>	<i>Bryocamptus</i> (<i>Rheocamptus</i>) <i>zschokkei</i>	<i>Canthocamptus</i> <i>staphylinus</i>	<i>Epactophanes</i> <i>richardi</i>	<i>Maraenobiotus</i> <i>vejvodskyi truncatus</i>	<i>Paracamptus</i> <i>schmeili</i>	<i>Paracamptus</i> sp. SA	<i>Parastenocaris</i> sp.	<i>Haploginglymus</i> sp.	<i>Echinogammarus</i> sp.	<i>Stenasellus</i> <i>virei buchneri</i>	<i>Proasellus</i> cf. <i>ortizi</i>	<i>Iberobathynella</i> <i>cornejoensis</i>	<i>Vejdovskybathynella</i> <i>edelweiss</i> n.sp.	<i>Vejdovskybathynella</i> n.sp.2	<i>Bathynellidae</i> n.gen. n.sp.1
Localización \ nº sp	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
	1					1																				1			
R. Trema- 2										1													1						
R. Trema- 1							1																			1			
R. Trueba- 1				1		1						1			1		1		1		1								
R. Trueba- 2											1								1										
R. Trueba- 3						1				1	1								1										
R. Engaña										1	1				1								1						
R. Nela- 1						1				1					1														
R. Nela- 2										1	1				1				1	1									
Arroyo Hoz		1		1					1														1						
Pozo frente Torcón		1				1			1														1						
Pozo en chalet									1																				
R. Trueba-1				1																									
R. Trueba-3															1														
R. Trema-1		1									1																		
R. Engaña										1					1														
R. Nela- 1																													
R. Nela- 2															1							1							
R. Trema- 1													1				1												
R. Trema- 3										1					1				1				1						

	<i>Dactylobiotus dispar</i>	<i>Dactylobiotus partenogeneticus</i>	<i>Hypsibius</i> sp.	<i>Hypsibius convergens</i>	<i>Hypsibius dujardini</i>	<i>Isohypsibius marcellinoi</i>	<i>Isohypsibius</i> sp.	<i>Macrobiotus richtersi</i> group	<i>Milnesium</i> sp.	<i>Pseudobiotus megalonyx</i>	Diptera	Collembola	Araneae	Coleoptera	Plecoptera	Ephemeroptera	Miriapoda
Localización \ nº sp	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
														1			
											1	1				1	
R. Trema- 2														1		1	
R. Trema- 1														1	1		
R. Trueba- 1	1	1							1		1	1		1	1	1	
R. Trueba- 2		1									1	1		1	1		
R. Trueba- 3		1									1			1	1	1	
R. Engaña											1			1		1	
R. Nela- 1		1									1	1		1	1	1	
R. Nela- 2			1								1			1	1		
Arroyo Hoz											1				1		
Pozo frente Torcón						1					1	1			1		1
Pozo en chalet												1					
R. Trueba-1												1		1			
R. Trueba-3												1		1	1		
R. Trema-1					1							1			1	1	
R. Engaña															1		
R. Nela- 1															1		
R. Nela- 2																	
R. Trema- 1		1		1								1			1	1	
R. Trema- 3											1	1		1	1		

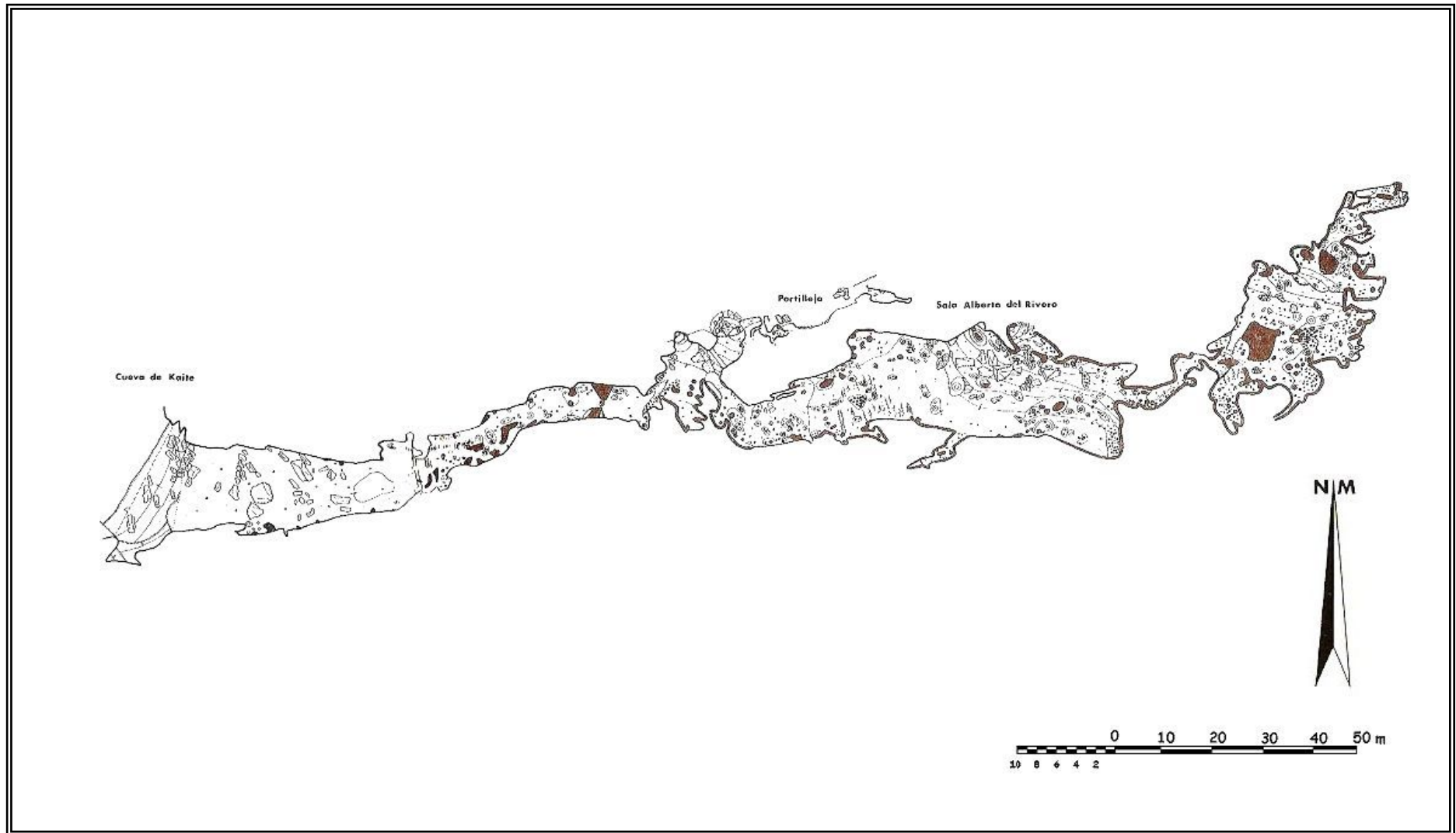
Apéndice 7

Las topografías incluidas en este 7º apéndice se han extraído y modificado de la publicación del Grupo Espeleológico Edelweiss de 1986.

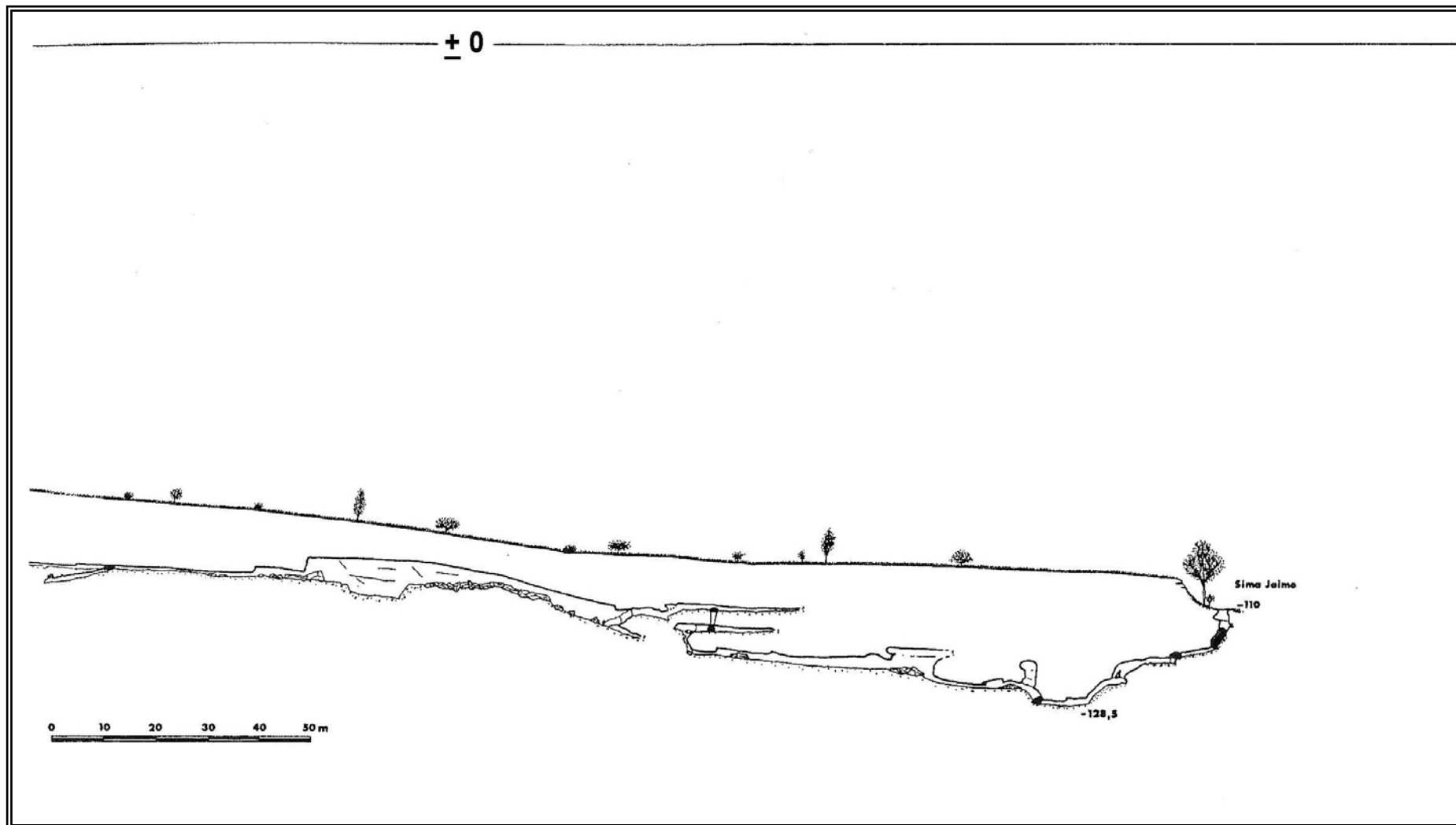
Apéndice 7.1. Perfil topográfico de la Sima Rizuelos, situada en el Sector Dulla (occidental) del complejo kárstico de Ojo Guareña. Proyección O-E.



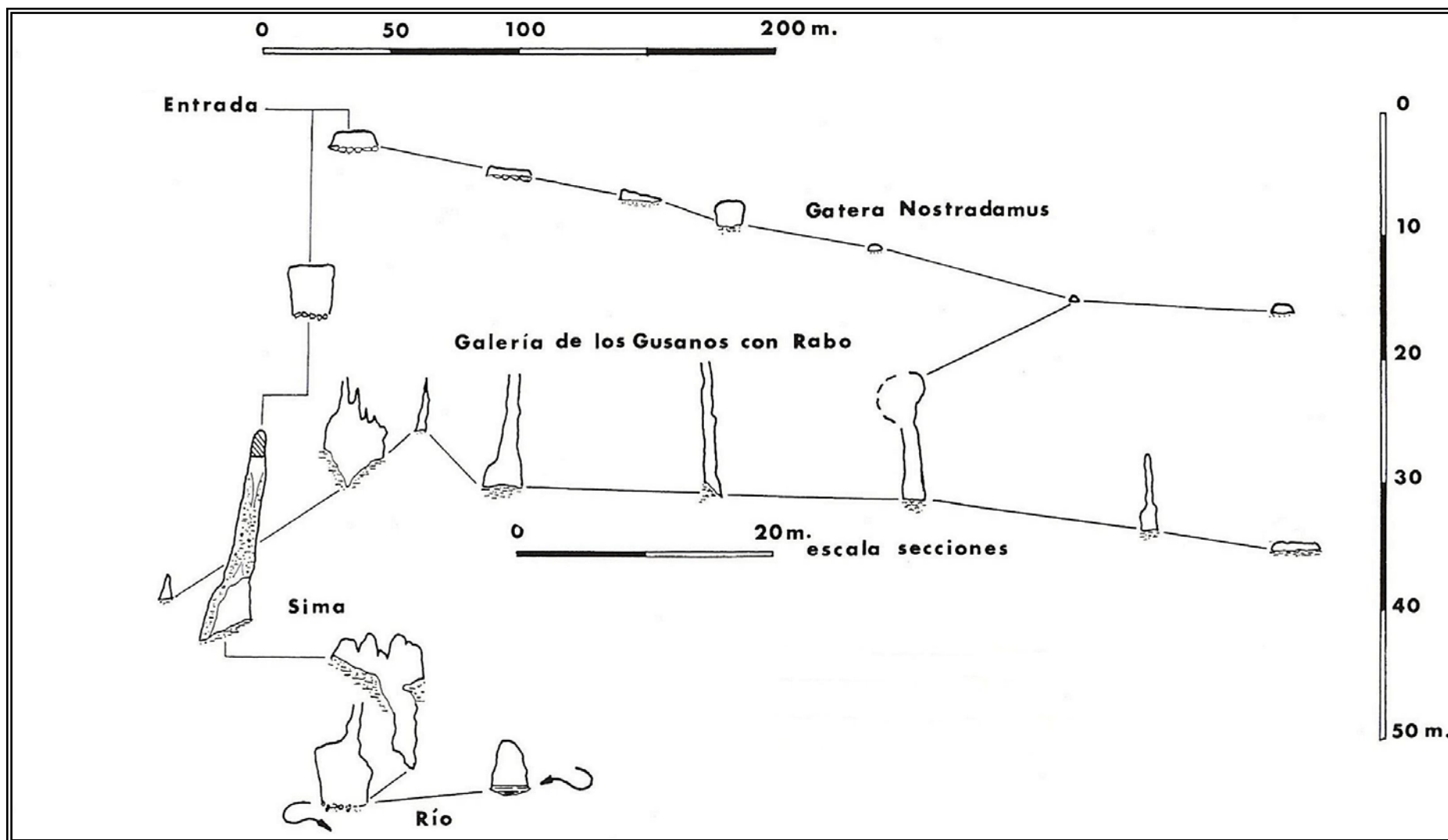
Apéndice 7.2. Proyección en planta de la cueva Kaite.



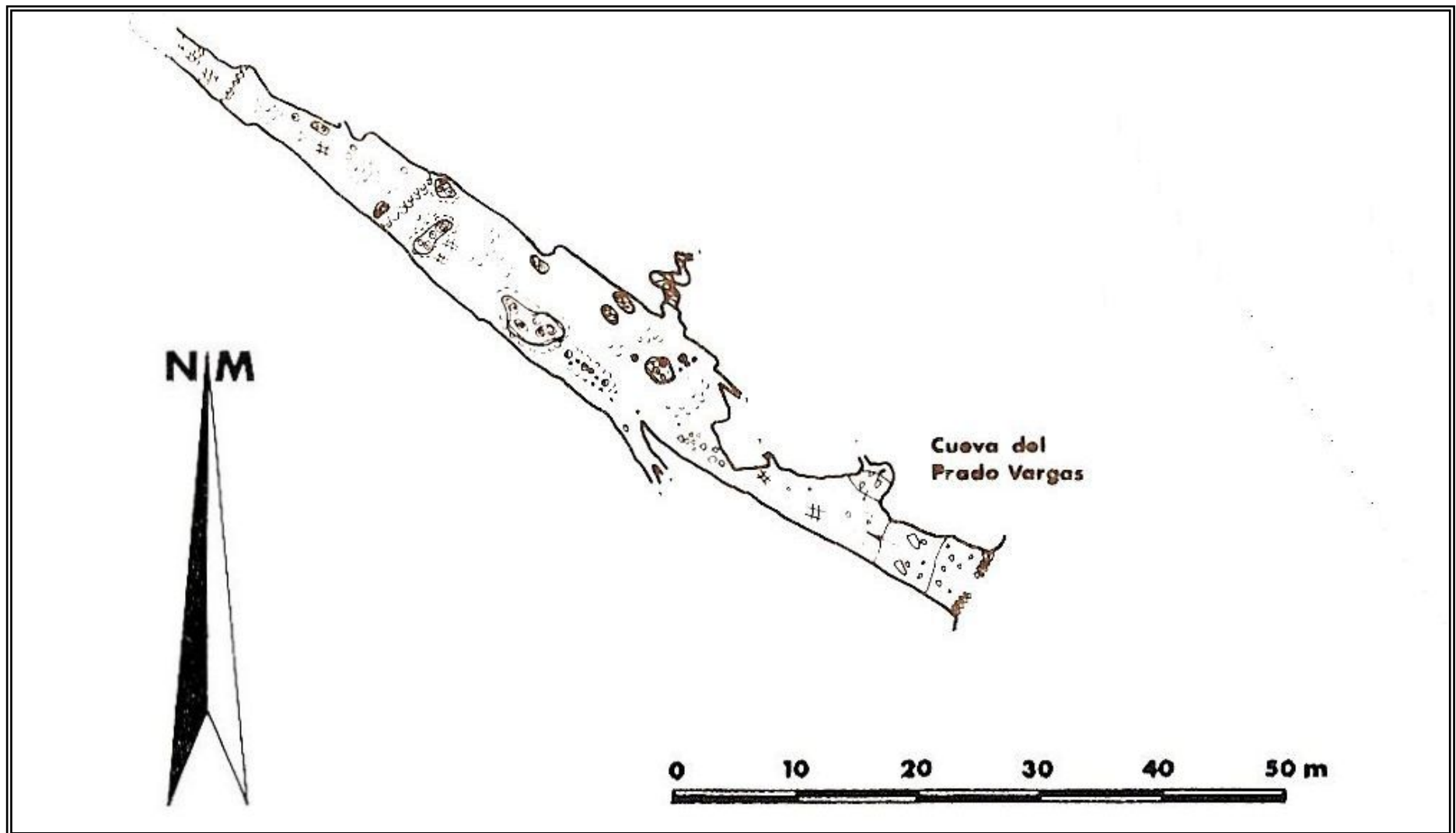
Apéndice 7.3. Perfil topográfico del Sector Occidental de Ojo Guareña que contiene la Sima Jaime. Proyección O-E.



Apéndice 7.4. Perfil topográfico de Cueva la Mina, en el Sector Oricedo de Ojo Guareña, en el extremo oriental del eje norte.



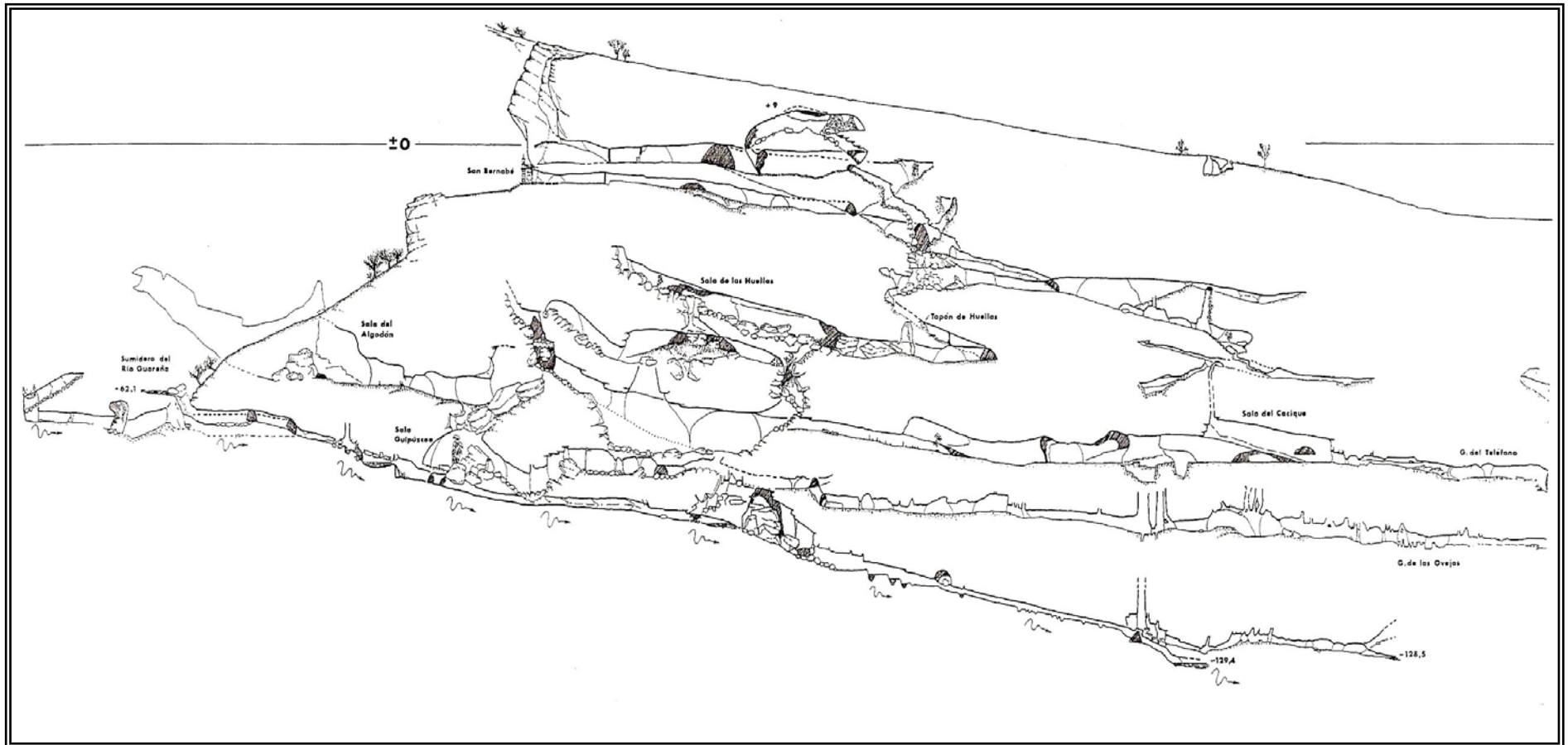
Apéndice 7.5. Perfil topográfico de la cueva del Prado Vargas, en el Sector Oricedo de Ojo Guareña.



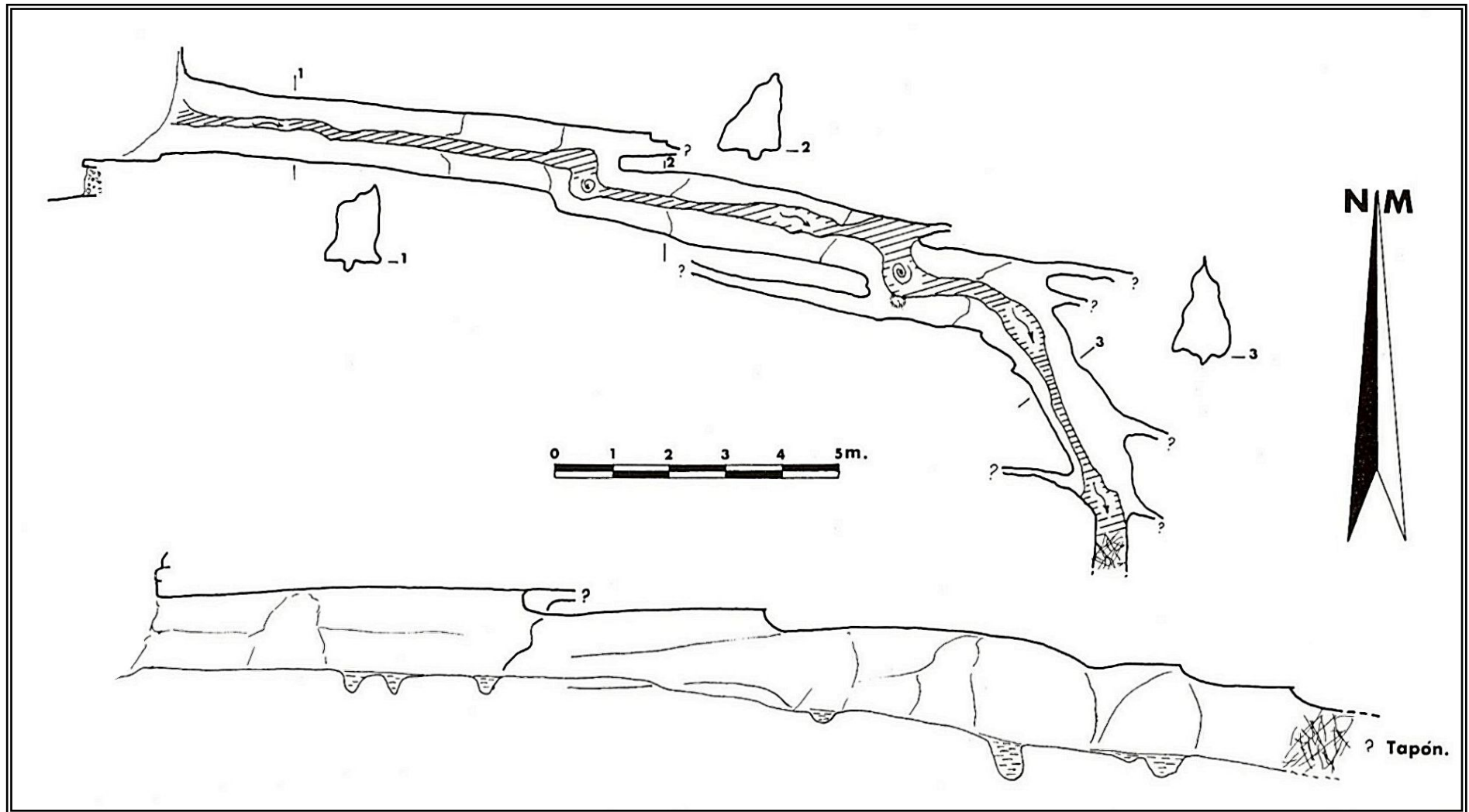
Apéndice 7.6. Perfil topográfico y proyección en planta de la Cueva García, en el Sector Dulla, el más occidental de Ojo Guareña.



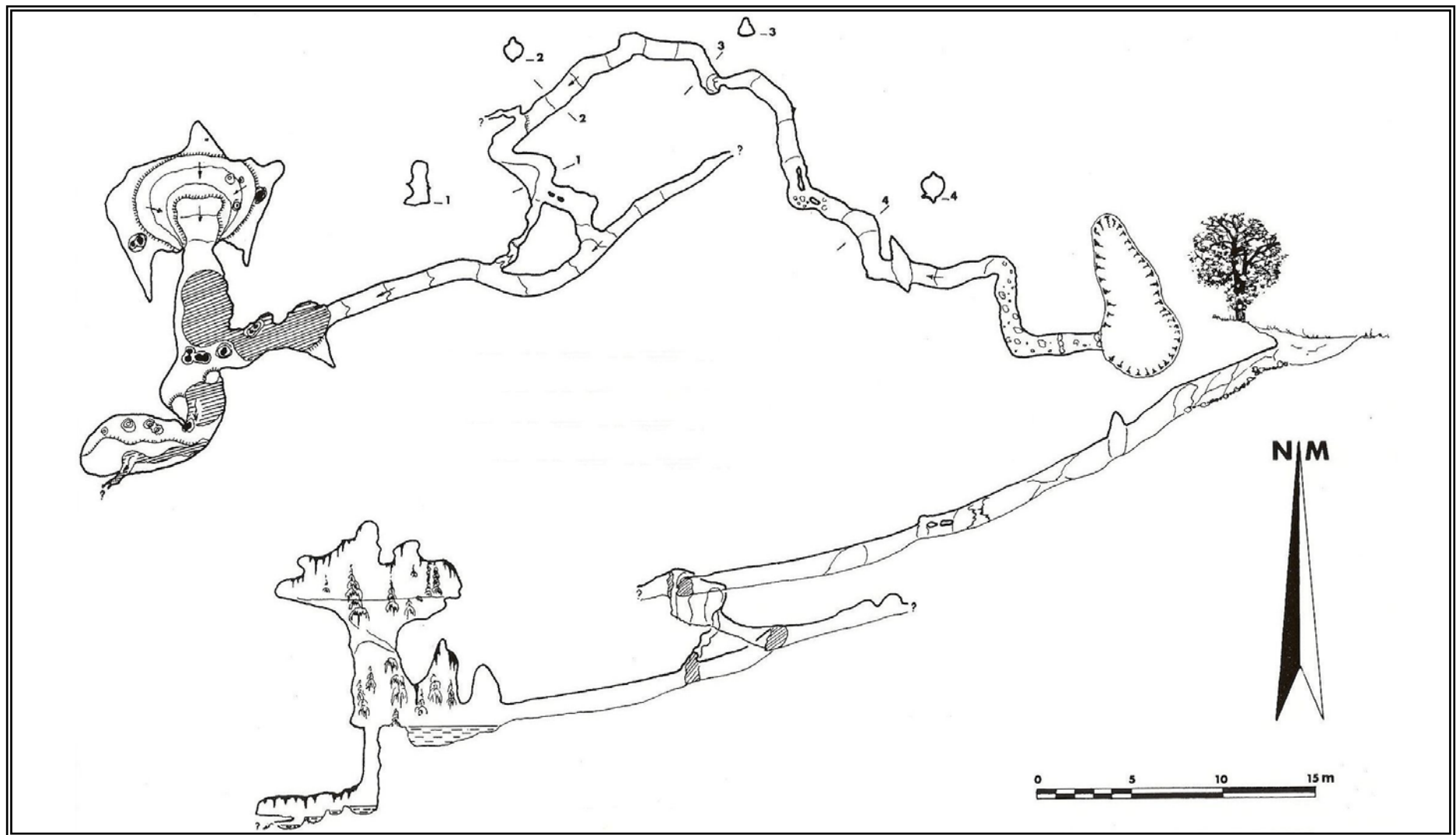
Apéndice 7.7. Perfil topográfico del Dédalo Oeste de Ojo Guareña que contiene la Cueva de San Bernabé (área central-superior de la figura).
Proyección O-E



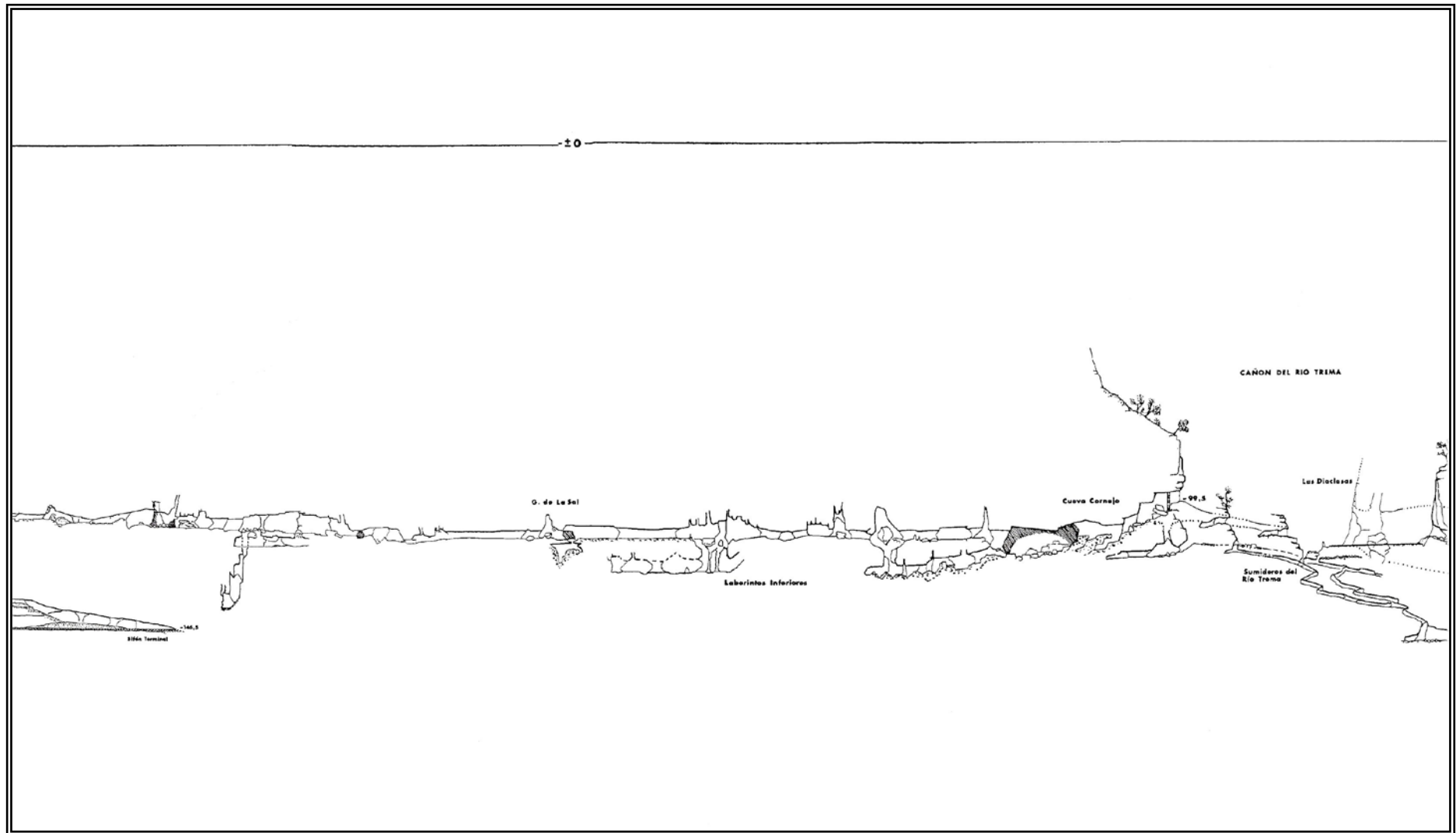
Apéndice 7.8. Proyección en planta y perfil topográfico del sumidero del río San Miguel, a 2 Km al norte del Sector Central de Ojo Guareña.



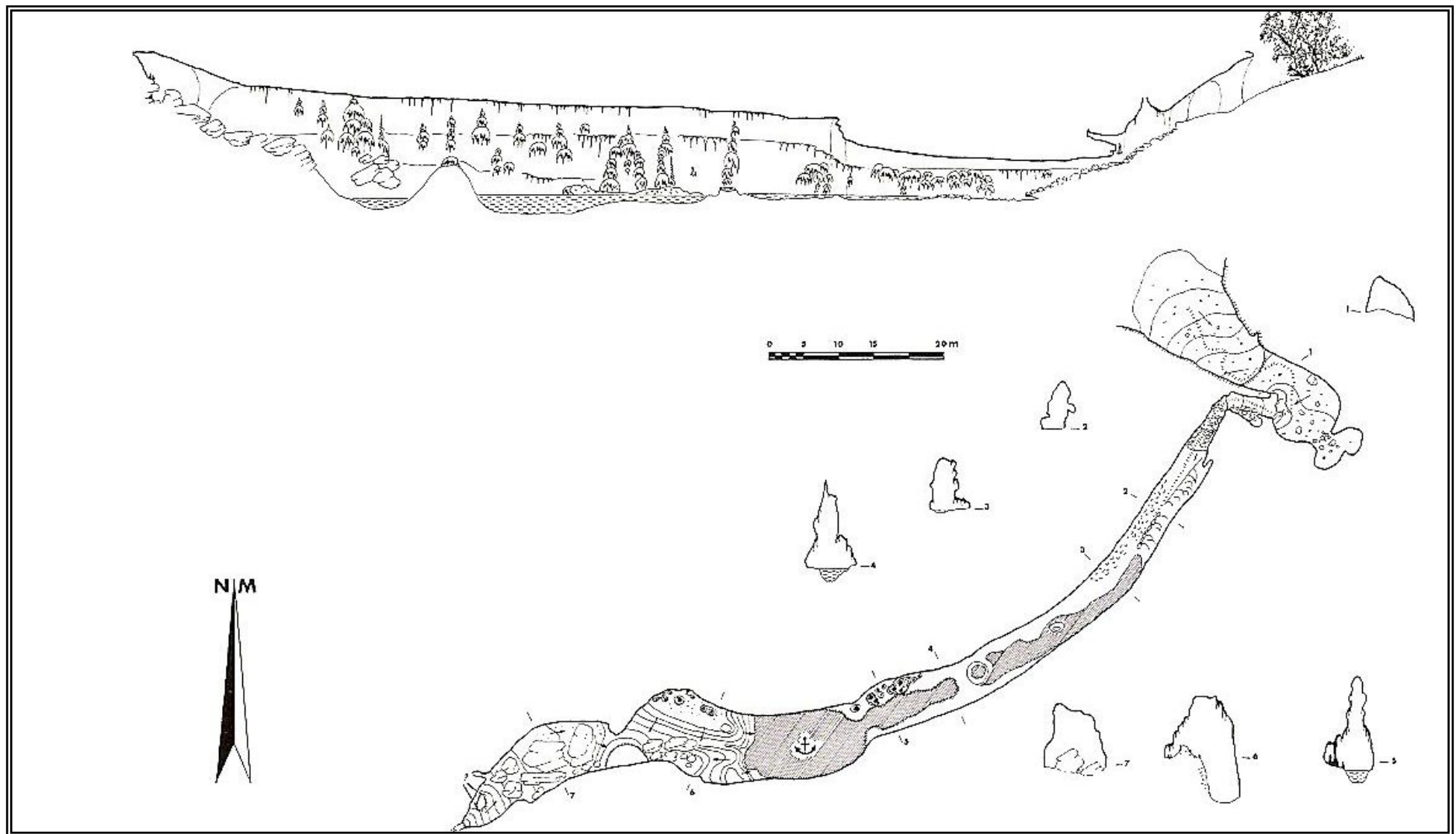
Apéndice 7.9. Proyección en planta y perfil topográfico de la cueva de las Llanas, Sector Dulla, el más occidental del complejo kárstico.



Apéndice 7.10. Perfil topográfico de la Cueva Cornejo, Sector Oricedo, extremo oriental del complejo. Proyección O-E.



Apéndice 7.11. Perfil topográfico y proyección en planta de la cueva Racino, en el Sector Dulla, el más occidental de Ojo Guareña.



Apéndice 7.12. Topografía en planta de Cueva Redonda, sobre el Sector Oricedo de Ojo Guareña, junto al pueblo de Cornejo.

